

Multimodale Integration von Rhythmen bei Kindern

Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät
der
Universität Zürich

vorgelegt von
Astrid von Büren Jarchow

von Ennetmoos / NW und Zürich

Angenommen im Wintersemester 2006/2007 auf Antrag von Herrn
Prof. Dr. Lutz Jäncke und PD Dr. Valentine Marcar

| | |
|--|-----------|
| 1. ABSTRACT | 4 |
| 2. EINLEITUNG | 5 |
| 2.1 Geschichtliches | 6 |
| 2.2 Die Bedeutung des Rhythmus für die kindliche Entwicklung | 7 |
| 2.3 Rhythmus in Sprache und Musik | 8 |
| 2.4 Multimodalität | 10 |
| 2.5 Musiker und kognitive Fähigkeiten..... | 12 |
| 2.6 Relevanz der Studie | 14 |
| 3. METHODE | 16 |
| 3.1 Fragestellungen und Hypothesen | 16 |
| 3.2 Operationalisierung | 17 |
| 3.3 Stichprobe..... | 19 |
| 3.4 Ablauf, Versuchsdesign | 21 |
| 3.4.1 Das Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis | 23 |
| 3.4.2 Das Experiment zur Rhythmuswahrnehmung | 24 |
| 3.4.3 Das Experiment zur Rhythmusreproduktion | 24 |
| 3.5 Material | 25 |
| 3.5.1 Die Tri-Modal-Box (TriModBox)..... | 25 |
| 3.5.2 Stimuli | 27 |
| 3.5.3 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung | 28 |
| 3.5.3.1 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis | 29 |
| 3.5.3.2 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung | 31 |
| 3.5.3.3 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung der Daten im Experiment zur Rhythmusreproduktion..... | 32 |
| 3.5.4 Fragebogen..... | 34 |
| 4. RESULTATE..... | 36 |
| 4.1 Die Resultate des Experiments zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis | 36 |
| 4.2 Die Resultate des Wahrnehmungsexperiments | 37 |
| 4.2 Die Resultate des Experiments zur Rhythmusreproduktion | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 5. DISKUSSION | 41 |
| 5.3 Experiment zur Rhythmusreproduktion | 45 |
| 5.4 Das Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung | 46 |
| 5.6 AUSBLICK..... | 50 |
| 6. ZUSAMMENFASSUNG | 53 |
| 7. DANKSAGUNG | 55 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 63 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 63 |
| ANHANG | 64 |
| EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG DER ELTERN:..... | 65 |

1. Abstract

For proper perception and production of music sensory information must be integrated to allow the preparation and the execution of motor commands. Previous studies have shown a dominance of the auditory system for rhythm discrimination. However, it is not clear how rhythm perception is affected when different sensory modalities are combined and presented simultaneously. The aim of the current study was to examine rhythm perception in children using unimodal and multimodal sensory stimulation. A newly developed Multimodal-Box allows rhythmic stimulus presentation in the three modalities (auditory (A), visual (V) and tactile (T)) separately, or in any combination. 47 children (28 female) were exposed to three experiments (rhythmic working memory, rhythm perception and rhythm reproduction) for each of the seven possible modality combinations (A, V, T, AV, AT, VT, & AVT).

The perception results show, that adding another modality to a single or bimodal condition always improved performance. The same pattern was found in rhythm reproduction as well as in rhythmic working memory.

A multimodal rhythm processing model was developed and discussed in this work.

These results may have implications for further research or treatment options in which one sensory domain can be used to improve perceptual or even reproduction problems or deficiencies in other sensory domains.

Keywords: multimodal perception, rhythm perception, rhythm reproduction, working memory, children, auditory, tactile, visual

2. Einleitung

Die Arbeit „Multimodale Integration von Rhythmen bei Kindern“ befasst sich einerseits mit einem kleinen Bereich innerhalb der Musikpsychologie, der Wahrnehmung, Speicherung und Reproduktion von Rhythmen, andererseits mit der Multimodalforschung. Ausschlaggebend für die Wahl dieses Themas waren zwei aus der Literatur bekannte Begebenheiten:

1. Rhythmus hat in Sprache, Literatur und Musik eine grosse Bedeutung. Studien (Nazzi & Ramus, 2003; Overy, 2003; Patel, 2006a,b, 2005, 2003; Overy et al., 2002; Ramus, 2002; Ramus et al., 1999; Anvari, 2002; Rose et al., 1999) zeigten interessante Zusammenhänge zwischen Sprache und Musik beziehungsweise Rhythmus, die für eine therapeutisch ausgerichtete Forschung im Bereich von angeborenen oder erworbenen Wahrnehmungsstörungen und Sprachstörungen wichtige Grundsteine legen könnten.
2. In kognitiv-räumlichen Paradigmen (Zampini et al., 2005; Calvert & Thesen, 2004; Lalanne & Laurenceau, 2004; Frassinetti et al., 2002; Calvert et al., 1998) wie auch in einigen wenigen anderen Bereichen, beispielsweise in der Emotionswahrnehmung (Baumgartner et al., 2006), konnte bei multimodaler Stimulation gezeigt werden, dass Wahrnehmungsschwellen gesenkt und Reaktionszeiten verkürzt werden oder Intensitäten gesteigert können.

Die Studie will testen, ob multimodale Stimulation auch im Bereich der Rhythmuswahrnehmung eine Leistungsverbesserung erbringt und damit möglicherweise deren Speicherung und Reproduktion beeinflusst.

Im Folgenden werden Forschungsergebnisse dargelegt, die nahe legen, dass mit einer Kombination von multimodaler Stimulation mit Musik- und/oder Sprachstimuli Transfereffekte ausgenutzt werden und später von therapeutischem Nutzen sein könnten.

2.1 Geschichtliches

Einen für die Musikpsychologie bedeutenden Schritt vollbrachte der Physiologe und Physiker Hermann von Helmholtz (1821-1894). Er entwickelte 1863 *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (von Helmholtz, 1863), welche unter anderem eine mathematische Theorie zur Erklärung der Klangfarbe durch Obertöne enthält und auf der die Resonanztheorie des Hörens basiert. In den Jahren danach verzweigte sich die Musikpsychologie in diverse Richtungen und präsentiert sich heute in äusserst vielfältiger Form: die Wahrnehmung und Verarbeitung von Tonhöhen, Rhythmen, komplexen und einfachen Klangereignisse bei Gesunden und auch bei Menschen mit unterschiedlichen Hirnstörungen diverser Ursachen. Im Rahmen dieser Forschungsrichtung werden Phänomene wie das absolute Musikgehör und die Amusie erforscht sowie das Singen, Musizieren, Komponieren im Vergleich mit anderen kognitiven Fähigkeiten untersucht. Des Weiteren wird nach strukturellen wie auch nach funktionellen Unterschieden zwischen Musikern und Nicht-Musikern gesucht.

Der Begriff Rhythmus kommt aus dem Griechischen „rhythmos“ und wird übersetzt mit: Gesetz, Form, Schema. Rhythmus ist sowohl in der Literaturwissenschaft wie auch in der Musikwissenschaft von grosser Bedeutung. Sein Einzug in die psychologische Forschung begann Ende des 19. Jahrhunderts, als erste psychologische Arbeiten über Rhythmen und das Rhythmusempfinden wie auch zur „Charakteristik des Rhythmus“ (Bolton, 1893) publiziert wurden. Bereits 1926 fand in Genf der „Premier Congrès du Rythme“ statt (Compte Rendu, 1926, in Mursell, 1937). Einen weiteren wichtigen Schritt in der Rhythmusforschung vollbrachten die drei Autoren Stetson (1905), Jackson (1915-1916a,b) und Wedge (1927). Sie legten die sieben Grundtypen von Rhythmuseinheiten fest: Jambus, Trochäus, Daktylus, Anapäst, Amphibrach, Tempolo und Einzelschlag. Analysen zu diesen Grundtypen prägten erste Arbeiten der Rhythmusforschung (Mursell, 1937).

Heute verzweigte sich auch dieser Bereich der Musikforschung thematisch weiter und es entsprangen Forschungsrichtungen wie „Synchronisation, Verarbeitung von Tempo, Takt und Metrum, isochronische versus asynchronische Rhythmen und Rhythmus in Sprache und Musik. Methodisch unterscheidet sich die Rhythmusforschung nicht von anderen

psychologischen, neuropsychologischen oder neurowissenschaftlichen Ansätzen. Wie in den folgenden Kapiteln beschrieben, werden heute, neben bildgebenden Verfahren, Verhaltensdaten in verschiedensten Alterskategorien, mit unterschiedlichen Stichprobenmerkmalen (Musiker, Nicht-Musiker, Amusiker, Gesunde, Patienten, Schülerinnen und Schüler mit Sprachbehinderungen oder Dyslexie) und den unterschiedlichsten Paradigmen erhoben.

2.2 Die Bedeutung des Rhythmus für die kindliche Entwicklung

Im Alltag lässt sich beobachten, wie sich schon kleine Kinder von einem „rassigen“ Rhythmus mitreißen lassen. Bevor sie laufen, schwanken und tanzen sie sitzend oder wackelig stehend zu den gehörten Rhythmen oder synchronisieren ihre Bewegungen zum Takt (Condon & Sander, 1974; Moog, 1976, zitiert in Hargreaves, 1986). Allerdings können sehr kleine Kinder ihre Bewegungen noch nicht zu gehörten Taktstimuli koordinieren (Longhi, 2003 in Patel, 2006). Diese Entwicklung muss jedoch nicht zwingend an der Unfähigkeit der Wahrnehmung liegen, sondern kann vermutlich der noch fehlenden motorischen Kontrolle zugeordnet werden.

Spezifische Studien zur Zeit- und Rhythmusverarbeitung bei Kleinkindern bestätigen die faszinierenden Alltagsbeobachtungen: schon Kleinkinder haben eine ausgeprägte Zeitverarbeitung (Werner et al., 1992; Trehub et al., 1995), nehmen Rhythmen wahr und lassen sich davon zur Bewegung inspirieren (Drake, 1997; Drake et al., 2000). Einzig die Feinmotorik bildet sich später aus, so dass vor allem sehr schnelle Rhythmen nicht reproduziert werden können. Drake (1997; siehe auch Drake et al., 2000) beschreibt jedoch eine rasante Entwicklung dieser motorischen Fähigkeiten.

Die Entwicklung der Musikverarbeitung beginnt sehr früh. Bereits Neugeborene unterscheiden verschiedene Rhythmuskategorien, auch dann, wenn zusätzlich hilfreiche Komponenten wie die Intonation oder die Phoneme-Unterschiede der verschiedenen Sprachen (hier beispielsweise Holländisch und Japanisch) in den präsentierten Tonaufnahmen künstlich angeglichen wurden (Ramus, 2002). Chang & Trehub (1977) fanden (siehe auch Schellenberg & Trehub, 1994; Trehub et al., 1989), dass bereits

Säuglinge Tonsequenzen mit identischen Tonhöhen diskriminieren und auch isochronische Tonsequenzen gruppieren können (Thorpe et al., 1989; Thorpe et al., 1988). In metrischen Rhythmusmustern können neun Monate alte Babys Rhythmusänderungen feststellen, nicht aber in non-metrischen Rhythmusmustern. Best et al. (1982) und Bertoncini et al. (1989) zeigten in ihren Experimenten, dass bereits im vorsprachlichen Alter ein Rechts-Ohr-Vorteil für Sprachstimuli und ein Links-Ohr-Vorteil für rein rhythmische Stimuli besteht.

Diese Ergebnisse lassen auf eine frühe Reifung dieser Fähigkeiten schliessen und auch vermuten, dass die zeitliche Verarbeitung von auditorischen Stimuli von grosser Bedeutung ist. Eventuell bilden sie für spätere kognitive Fähigkeiten eine Voraussetzung. Eine dieser kognitiven Fähigkeiten ist die Sprache. Diese ist darauf angewiesen, dass das Gehirn Sprachmelodie und sehr schnelle (im Millisekundenbereich liegende) auditorische Stimuli korrekt und effizient verarbeiten kann.

2.3 Rhythmus in Sprache und Musik

Sowohl in Sprache als auch in Musik werden zeitliche Abfolgen von auditorischen Stimuli wahrgenommen, verarbeitet und gespeichert. Möglicherweise folgt dieser Verarbeitung eine motorische Antwort. Während die Sprachverarbeitung in den Gehirnarealen klar links lateralisiert sind, gibt es für die Rhythmusverarbeitung noch keine klare Zuordnung. Lerdhal & Jackendoff (1983) schlagen eine Dissoziation von Rhythmus und Takt vor. Die linke Hemisphäre soll dabei Rhythmus verarbeiten, während die rechte für den Takt zuständig ist. Zatorre & Belin (2001) hingegen diskutieren eine linkshemisphärische Verarbeitung von schnellen zeitlichen Stimuli. Die rechte Hirnhälfte verarbeitet nach ihnen vor allem spektrale Stimuli. Alcock et al. (2000) unterstreichen diese zeitliche Verarbeitungstheorie der linken Hirnhälfte. Sie untersuchten Patienten, die entweder auf der linken Hirnhälfte Läsionen aufzeigten oder aber auf der rechten Hirnhälfte. Linksseitige Läsionen führten zu Beeinträchtigungen in der Rhythmusreproduktion und Rhythmuswahrnehmung. Hingegen Patienten mit rechtseitigen Läsionen waren in der Tonhöhendiskriminierung und deren Reproduktion

beeinträchtigt. Limb et al. (2006) untersuchten mit fMRI die Strukturen, die für eine passive Rhythmuswahrnehmung zuständig sind. Unabhängig von der musikalischen Ausbildung waren dies bilaterale Areale im superioren Temporallappen, der linke inferiore Parietalcortex und das rechte Operculum frontale.

Die Klassifizierung der Sprachen wird von Linguisten anhand von Sprachrhythmen vorgenommen. Auch die Psycholinguisten übernahmen dieses Klassifikationssystem, gestützt durch die Tatsache, dass bereits Babys fähig sind, diese Rhythmusklassen zu diskriminieren (Ramus, 1999). Die Messungen der verschiedenen Rhythmen in verschiedenen Sprachen werden momentan von zwei Forschern erfolgreich durchgeführt. Ramus' Messung basiert auf der künstlichen Reproduktion der Sprache in den Bereichen Phonotaktik und Prosodie, Prosodie, Rhythmus und reine Intonation. Er konnte zeigen, dass erwachsene Franzosen eine alleinige Präsentation des Sprach-Rhythmus genügt, um zwei Sprachen diskriminieren zu können. Zwar genügt auch die alleinige Präsentation von Intonation, doch mit dieser Information allein, war die Aufgabe bedeutend schwieriger zu bewältigen (Nazzi & Ramus, 2003).

Aniruddh Patel hingegen entwickelte den „normalized pair wise Variability Index“ (nPVI), der auf der von Linguisten entwickelten Dichotomisierung von „stress-timed languages“ versus „syllable-timed languages“ beruht. Mit der Entwicklung des nPVI gelang es erstmals, domänenübergreifend Musik und Sprache zu vergleichen. Beim Vergleich von Rhythmusmustern im Englischen und Französischen zeigten Patel und Daniele (2003), dass die von den Komponisten gesprochene Sprache sich auch auf ihre Musik, genauer auf ihre Kompositionen auswirkt. Unabhängig vom Takt zeigt sowohl englische Musik wie auch die englische Sprache durchschnittlich einen grösseren nPVI als die französische Sprache. Obwohl zwei unterschiedliche Verfahren verwendet wurden, deuten die Ergebnisse beider Forscher in dieselbe Richtung. Die gesprochene Sprache beeinflusst demnach den Rhythmus von Musikstücken. Dies ist ein weiterer Hinweis auf eine Gemeinsamkeit der Domänen Sprache und Musik und auch dafür, dass Rhythmen der einen Domäne auf eine andere Domäne Einfluss nehmen können.

Solche Hinweise auf mögliche Transfereffekte zwischen Musik und Sprache finden sich auch im klinischen Alltag. Overy et al. (2003) zeigen in „Musical Aptitude Tests“, dass

Kinder mit Dyslexie in rhythmischen Tests wie auch in Test, in denen eine schnelle zeitliche Verarbeitung gefragt ist, durchschnittlich schwächer abschneiden als ihre Kolleginnen und Kollegen aus der gesunden Kontrollgruppe. In Tonhöhendiskriminierungstests waren sie jedoch der Kontrollgruppe überlegen. In einer Interventionsstudie trainierte Overy (2003) Kinder mit Dyslexie und konnte zeigen, dass sich bereits nach achtwöchigem Rhythmustraining das Buchstabieren und die phonologischen Fähigkeiten der Kinder verbesserten. (Overy et al., 2003). Obwohl in ihrer Studie keine Kontrollgruppe erhoben wurde, gibt sie doch einen interessanten Hinweis auf mögliche Transfereffekte.

Ein weiterer interessanter Hinweis findet sich bei der Melodic Intonation Therapy (MIT; Sparks et al., 1973). In der MIT wird der Effekt ausgenutzt, dass viele Aphasiker zwar nicht sprechen können, aber in der Lage sind beim Singen korrekte Wörter zu produzieren (siehe Kpt. 2.6).

Michael Corballis (1991, in Gazzaniga et al., 2002) sieht die Zusammenhänge zwischen Sprache, Musik und Motorik aus der Perspektive der Hemisphärenasymmetrie. Sprache wie auch andere sequentielle motorische Vorgänge werden hauptsächlich von der linken Hemisphäre verarbeitet. Dort, im Gyrus frontalis medius, befindet sich laut Corballis ein „generative assembly device“ (GAD), welches die operative Schnittstelle zwischen den Domänen wie auch den Zugang zu motorischen Aktionseinheiten und Wörtern darstellt.

2.4 Multimodalität

Das wohl klassischste Beispiel in der Multimodalforschung ist der 1976 beschriebene Mc Gurk Effekt, der die Interaktion des visuellen und auditiven Systems sehr eindrücklich beschreibt: Die Silbe „ba“ wird als „ga“ wahrgenommen, wenn simultan zum Klang visuell die Lippenbewegungen „da“ präsentiert werden (Mc Gurk & Mac Donald, 1976).

Im räumlich-kognitiven Bereich bestehen sehr viele Paradigmen und Experimente. Oft sind es Experimente aus dem Wahrnehmungsbereich, bei denen anstelle von einem Sinnessystem die Interaktion zweier Systeme (meist visuell und auditiv) untersucht wird. Der räumlich-kognitive Bereich wird aufgrund der höheren räumlichen Auflösung als in anderen Sinnessystemen mehrheitlich dem visuellen System zugeordnet. Deshalb wird in

vielen Studien untersucht, wie das visuelle System, als „Hauptverarbeitungssystem“ dieser Art von Stimuli, von anderen Sinnessystemen beeinflusst wird oder umgekehrt. Ein weiteres, sehr bekanntes Beispiel hierfür ist der „Ventriloquist effect“: Der Ort der empfundenen Hörquelle kann durch das visuelle System drastisch beeinflusst werden (Howard & Templeton, 1966). Viele dieser frühen Arbeiten widmeten sich mehrheitlich dem intersensoriellen Konflikt oder Wahrnehmungssillusionen.

Im Aufmerksamkeitsbereich wurden verschiedene Komponenten der räumlichen Aufmerksamkeit nicht mehr nur innerhalb der einzelnen sensorischen Systeme untersucht. Neu wird auch die Verschiebung der Aufmerksamkeit zwischen den Sinnessystemen einbezogen. Llyod et al. (2003) berichten, dass die räumlich endogene Aufmerksamkeit in einem „orthogonal spatial cuing paradigm“ unabhängig voneinander problemlos verschoben werden kann. Ähnlich wie bei der räumlichen Aufmerksamkeitsverschiebung, wenn ein irrelevanter räumlicher Hinweisreiz die Aufmerksamkeit erst falsch lenkt und in die andere Richtung verschoben werden muss, kostet jedoch auch die Verschiebung der Aufmerksamkeit von einer Modalität zur anderen Zeit. Spence et al. (2000) zeigen, dass „Inhibition of return (IOR)“ supramodal ist. Unabhängig davon, ob der vorausgehende Zielreiz im selben Sinnessystem (visuell, auditiv oder taktil) präsentiert oder das Sinnessystem gewechselt wurde.

Der grösste Teil der Multimodalforschung läuft im Sinne der „modality appropriate hypothesis“, welche postuliert, dass diejenige Modalität einen Stimulus verarbeitet, welche am ehesten zuständig und am meisten verlässlich ist (Welch & Warren, 1980).

Auch im perzeptiven Bereich herrscht die räumliche Domäne vor. Damit wurden auch hier Paradigmen untersucht, die dem visuellen System als „Hauptsystem“ zugewandt sind. So konnte gezeigt werden, dass Schallereignisse in der Lage sind, zeitliche Aspekte im visuellen System zu verändern (Scheier et al., 2000), empfundene Lichtintensitäten zu verstärken (Stein, 1996), unklare Bewegungsereignisse verändern (Sekuler et al., 1997) und sogar die Anzahl gesehene Lichtblitze vermehren zu können (Shams et al., 2000).

Eine Intensitätssteigerung präsentieren auch Baumgartner et al. (2006). Emotionen werden stärker empfunden, wenn Bilder nicht nur visuell dargeboten, sondern mit Musik unterstrichen werden.

Für diese Arbeit von grosser Bedeutung ist jedoch nicht der intersensorielle Konflikt, sondern der bereits mehrfach gezeigte „facilitation effect“ (Zampini et al., 2005; Calvert & Thesen, 2004; Lalanne & Laurenceau, 2004; Frassinetti et al., 2002; Calvert et al., 1998). Stein und Meredith (1993) zeigten in Tierexperimenten zwei wichtige Regeln zur Integration der Sinne. Die „spatial and temporal rules“ beschreiben, dass zeitlich und räumlich nahe beieinander liegende auditorische und visuelle Signale eine Erhöhung der neuronalen Antwort zu Folge haben, während eine unimodale Präsentation eine Verminderung oder gar keine Veränderung der neuronalen Antwort provozieren. Sind unimodale Stimuli wenig effektiv (beispielsweise bei schwacher Lichtintensität), zeigen bimodale Präsentationen gar eine proportional grössere Verstärkung der neuronalen Antworten (Stein & Meredith, 1993; Stein et al., 1996).

Grundlage für diesen „enhancement effect“ könnte eine erhöhte neuronale Aktivität durch bimodale Stimulation sein. Calvert et al. (1999) berichten in einem fMRI Experiment zur Sprachwahrnehmung bei uni- und bimodaler Stimulation genau diese erhöhte Aktivität im V5 und BA 41/42.

Diese beobachtete erhöhte neuronale Aktivität könnte unter anderem ausschlaggebend für niedrigere Wahrnehmungsschwellen und schnellere Reaktionszeiten in multimodalen Wahrnehmungsexperimenten (Hershenson, M., 1962; Morell, Lk., 1968; Fens, M.A. & Van Opstal, 1995) sein. Allerdings sind hier weitere bildgebende Experimente in verschiedenen Domänen und mit der Beteiligung mehrerer verschiedener Sinnessysteme gefragt.

2.5 Musiker und kognitive Fähigkeiten

Normalerweise integriert unser Gehirn im Alltag Informationen von verschiedenen Hirngebieten und Modalitäten, ohne dass wir uns dieses Prozesses bewusst sind. Geräusche im Verkehr werden mit Augenbewegungen koordiniert und je nach Situation wird in den meisten Fällen eine adäquate motorische Reaktion ausgeführt. Beim Musizieren findet auch ein multimodaler Integrationsprozess statt. Während jedoch in vielen „multimodalen“ Alltagssituationen auf einen unerwarteten exogenen Stimulus

reagiert werden muss, gilt dies für die meisten musikalischen Handlungen nicht. Eine Ausnahme hierfür bildet das Improvisieren in einer Gruppe von Musikern. Ansonsten werden willentlich verschiedene Sinnessysteme sehr kontrolliert gesteuert. Das auditive, visuelle und taktile System sind parallel aktiv und werden mit neuen (oder bereits geübten) motorischen Mustern verbunden. Allein die Synchronisation der Augenbewegungen mit der Notenschrift stellt eine hohe Koordinationsleistung dar. Mit Hilfe des motorischen und des taktilen Systems setzen die Finger oder Hände (mit oder ohne Schlägel, Klöppeln oder Plektrum) auf Fellen, Tasten, Saiten, Klappen oder Grifflöcher das eben Gesehene motorisch um. Gleichzeitig wird versucht, mit den Augen sowohl das Instrument, die Notenblätter und allenfalls noch andere Mitspieler und/oder den Dirigenten im Blickfeld zu haben. Das Gehör überprüft parallel den Klang und ob das Gespielte mit der Notation übereinstimmt, und gleichzeitig wird das Stück weiter gespielt. Damit sind gleichzeitig drei sensorische Systeme aktiv: das auditive, visuelle und taktile System. Diese multisensorische Integration und das Zusammenspiel mit der Motorik könnten für die unterschiedlichen Gehirne von Musikern und Nicht-Musikern mit verantwortlich sein. Neurowissenschaftliche Methoden (EEG, fMRT) an Gesunden zeigen funktionelle und strukturelle Hirn-Unterschiede durch musikalisches Training (Foxton et al., 2004; Brashears et al., 2003; Gaser & Schlaug, 2003a; Gaser, & Schlaug, 2003b; Wilson et al. 2002; Schlaug, 2001; Schlaug et al., 1995). Für Musiker bestehen Vorteile im mentalen Vorstellen und sie weisen schnellere Reaktionszeiten in intellektuellen Leistungen auf (Brochard et al., 2004). Vermutet wird, dass durch musikalisches Praktizieren eine bessere sensomotorische Integration gelingt.

Das Musizieren in einer Gruppe oder einem Orchester stellt zusätzliche Anforderungen. Es gibt wichtige Informationen, die eine Musikerin oder ein Musiker unbedingt mitbekommen muss (der Klang des eigenen Instruments, den Dirigenten und die Mitspieler, die Notation usw.), während andere Einflüsse ignoriert werden müssen. Durch das Musizieren wird damit nicht nur die Verbindung der sensorischen Information zwischen den Sinnesmodalitäten und der Motorik ständig trainiert. Das musikalische Praktizieren trainiert auch andere kognitive Fähigkeiten. Diese Fähigkeiten können mit psychologisch-kognitiven Konstrukten wie selektive und

geteilte Aufmerksamkeit, Arbeits-, Kurz- und Langzeitgedächtnis und Exekutivfunktionen umschrieben werden.

Im Schulalltag werden ähnliche Anforderungen an die Kinder gestellt. Die Konzentration soll auf die gerade gestellten Aufgaben fokussiert sein, Nebengeräusche müssen ignoriert werden. Beim Schreiben beispielsweise setzt die Motorik Gesehenes, Gehörtes oder Vorgestelltes in Schrift um. Hier korrigiert jedoch im Vergleich zum Musizieren das visuelle System das Schriftbild.

Musikstücke werden oft memorisiert und auswendig gespielt. Dies erfordert eine gute Gedächtnistraining-Strategie, welche sich durchaus für Schulleistungen positiv auswirken kann. Insbesondere wenn es darum geht, neue Inhalte aufzunehmen, Vokabeln zu lernen oder für eine Prüfung zu lernen. Natürlich gilt auch hier die Voraussetzung, dass gewisse Transfereffekte von einer Domäne in die andere möglich sind.

2.6 Relevanz der Studie

Wie bereits erwähnt, bestehen grosse Gemeinsamkeiten in der Verarbeitung von schnellen auditorischen Stimuli, der Sprache und der Rhythmusverarbeitung. Patel (2003a;b) entwickelte den nPVI, der ihm erlaubt, Rhythmen in Sprache und Musik zu vergleichen. Damit zeigt er, dass sich diese beiden Domänen ähnlich sind. Er schlägt für die Musik und Sprachverarbeitung überlappende Rhythmus-Netzwerke vor (mündl. Mitteilung, 2006). Die bereits bekannte Dissoziation zwischen Amusie ohne Aphasie und Aphasie ohne Amusie führt er darauf zurück, dass die Fälle, an jenen diese Dissoziation gezeigt wurde, professionelle Musiker waren. Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass dies auch für Nicht-Musiker gilt, da bereits bekannt ist, dass Musiker sich von Nicht-Musikern in Gehirnvolumen sowie weisser und grauer Substanz unterscheiden (Schlaug, 2001).

Kann nun aufgrund der möglichen gemeinsamen Netzwerke davon ausgegangen werden, dass Verarbeitungsdefizite in einem Bereich auch Verarbeitungsprozesse in einem anderen Bereich stören können? Ein interessantes Beispiel hierfür ist die Studie von Overy (2003), welche zeigt, dass Kinder mit Dyslexie auch Rhythmus-

Reproduktionsstörungen aufweisen. Auch Tallal (1980) berichtet von zeitlichen Verarbeitungsstörungen bei sprachbehinderten Kindern. Dies deutet weiter auf eine enge Verbindung der beiden Domänen hin. Interessanterweise scheinen sich diese Defizite zumindest in der Rhythmusverarbeitung durch Training zu verbessern und vermögen sogar Transfereffekte in die Sprachdomäne zu bewirken. So zeigten Dyslexiekinder nach einem Rhythmustraining Verbesserungen in den Tests zur Rhythmusreproduktion, zur „rapid auditory processing“, zur phonologischen Verarbeitung und zur Rechtschreibung, jedoch keine Leseverbesserung.

In der Schlaganfallforschung ist seit 1942 (Goldstein) bekannt, dass Patienten mit schwerer Broca-Aphasie korrekte Wörter singen können. 1973 wurde dieses Phänomen von Albert et al. (1973) aufgenommen und es entstand eine Sprechtherapie, genannt „Melodic Intonation Therapy“ (MIT). Hinter dieser Therapie steckt die Idee, dass die für das Singen noch intakten Gehirnareale akquiriert und mit den Arealen der Sprachproduktion neu verbunden werden. Teil der Therapie ist, dass der Therapeut die Silben gleichmässig rhythmisch betont, indem er mit der rechten Hand auf die linke Hand des Patienten klopft. MIT wurde mit positivem Ergebnis sehr vereinzelt auch für Kinder mit Apraxie benutzt (Roper, 2003). Allerdings zeigt der praxisbasierte Review auf, dass die wenigen Studien nicht sehr einfach zu vergleichen waren, und die MIT-Therapie für Kinder teilweise adaptiert werden musste.

3. Methode

3.1 Fragestellungen und Hypothesen

Ausgehend von den in Kapitel 2 beschriebenen Gemeinsamkeiten zwischen Sprache und Rhythmus wurden Überlegungen angestellt, neue Möglichkeiten für diese Transfereffekte therapeutisch zu nutzen. Kann beispielsweise der Effekt von Overy (2003) und Overy et al. (2003), dass sich Kinder mit Dyslexie nach einem Rhythmustraining im Lesen und Lautieren verbessern, verstärkt werden? Kann der „facilitation effect“ auch bei der Verarbeitung von Rhythmen festgestellt werden?

Um dies realisieren zu können, müssen jedoch einige Grundsatzfragen geklärt werden:

1. Können Kinder mit der TriModBox umgehen, die (a) die Wahrnehmung, (b) Speicherung und (c) Reproduktion von multimodalen Rhythmen misst?
2. Verbessert sich (a) die Wahrnehmung, (b) Speicherung und (c) Reproduktion von Rhythmen bei bi- oder trimodaler Stimulation?
3. Sind Kinder, die regelmässig musizieren, rein durch das musikalische Training (a) in der Rhythmuswahrnehmung, (b) in der Speicherung und (c) Reproduktion der Rhythmen begünstigt?

Als mögliche Antworten für diese Fragen bietet sich die Multimodalforschung an, die den „Facilitation Effect“ in verschiedenen räumlichen Domänen und verschiedenen Paradigmen beschreibt. Bis anhin hat jedoch noch niemand gezeigt, dass dieser Effekt auch für die Rhythmuswahrnehmung, Rhythmusspeicherung und Rhythmusreproduktion gilt. Damit ergeben sich für die formulierten Fragen folgende Hypothesen:

Hypothese 1

H0: Die TriModBox eignet sich nicht für Aufnahmen mit Kindern.

H1: Die TriModBox eignet sich für Aufnahmen mit Kindern

Hypothese 2

H0: Es gibt keine Leistungsverbesserung (a) in der die Rhythmus-Wahrnehmung, (b) im rhythmischen Arbeitsgedächtnis, (c) in der Rhythmus-Reproduktion aufgrund einer bi- und trimodalen Stimuluspräsentation.

H1: Es gibt eine Leistungsverbesserung (a) in der die Rhythmus-Wahrnehmung, (b) im rhythmischen Arbeitsgedächtnis, (c) in der Rhythmus- Reproduktion aufgrund einer bi- und trimodalen Stimuluspräsentation.

Hypothese 3

H0: Kinder, die regelmässig musizieren, zeigen keine besseren Leistungen (a) in der Rhythmus-Wahrnehmung, (b) im rhythmischen Arbeitsgedächtnis und (c) in der Rhythmus- Reproduktion.

H1: Kinder, die regelmässig musizieren, zeigen bessere Leistungen (a) in der Rhythmus-Wahrnehmung, (b) im rhythmischen Arbeitsgedächtnis und (c) in der Rhythmus- Reproduktion.

3.2 Operationalisierung

Um die Wahrnehmung, Speicherung und Reproduktion multimodaler rhythmischer Stimuli messen zu können, wurde ein neues Testverfahren entwickelt. Zunächst wurde ein online-Fragebogen mit einer Accessdatenbank geschaffen, welcher jedoch vor allem für eine spätere Testentwicklung von Bedeutung sein wird und für diese Studie hier vor allem die Personendaten erfasste. Zudem wurde die in 3.3.1 beschriebene multimodale TriModBox entwickelt, welche (gesteuert durch einen Laptop) die gesamte Stimulation übernahm und die Verhaltensdaten aufzeichnete. Die Box nahm für jedes der drei Experimente unterschiedliche Kennwerte auf.

- Im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis wurde die Genauigkeit der Reproduktion gemessen sowie die Anzahl der Reproduktionen. Dazu wurden folgende Kennwerte benötigt:

1. Die Onset-Zeiten der Stimuluspräsentation wurde mit der Reproduktion der Versuchsperson korreliert.
 2. Die Anzahl korrekt reproduzierter Rhythmen ($R^2 > 0.40$) wurde ausgezählt.
- Im Wahrnehmungsexperiment wurde ein „same-different-task“ verwendet. Zu diesem Zweck wurden zwei der fünf Reaktionsknöpfe mit einem Gleichheitszeichen „=“ oder einem durchstrichenen Gleichheitszeichen „≠“ gekennzeichnet. Die Kinder wurden aufgefordert, so schnell wie möglich mit einer dieser Tasten ihre Antwort zu geben. Gemessen wurde die Anzahl richtiger und falscher Antworten.
 - Für falsche Antworten gab es drei Möglichkeiten:
 1. Die beiden gehörten, gesehenen oder gespürten Rhythmen waren identisch, jedoch mit dem Knopf „≠“ bewertet.
 2. Die beiden gehörten, gesehenen oder gespürten Rhythmen waren nicht identisch, wurden jedoch mit dem Knopf (=) bewertet.
 3. Es wurde keine Antwort gegeben.
 - Richtige Antworten waren zwei möglich:
 1. Die beiden gehörten, gesehenen oder gespürten Rhythmen waren identisch und wurden mit dem Knopf „=“ bewertet.
 2. Die beiden gehörten, gesehenen oder gespürten Rhythmen waren nicht identisch und wurden mit dem Knopf „≠“ bewertet.
 - Im Experiment zur Rhythmusreproduktion nahm das im Kästchen integrierte Mikrophon die mit Finger oder Stift geklopfen Rhythmen auf. Die reproduzierten Rhythmen wurden anhand von zwei Messgrößen analysiert
 1. Das geometrische Mittel der Onset-Zeit (Präsentation/ Reproduktion) wurde als Maß für die Präzision berechnet.
 2. Für die Konstanz des Tempos wurde die Standardabweichung des quadratischen Mittelwerts berechnet.

Inhaltlich hat sich die Studie bereits gut etablierter psychologischer Konstrukte bedient. Die Leistungen der drei Experimente wurden in Anlehnung an die Gedächtnismodelle von Atkinson & Shiffrin (1968), Baddeley & Hitch (1974) und Norman & Shallice (1980) gestaltet. In allen drei Experimenten wurden die sensorischen Register entweder durch eine einzelne Modalität, eine Kombination zweier Modalitäten oder eine Dreierkombination aktiviert. Danach unterscheiden sich die Experimente in folgenden Punkten.

- Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis:
Die 8-mal präsentierten Stimuli wurden in einer Gesamtzeit von 35600 Millisekunden präsentiert. Während dieser Zeit mussten sie im Arbeitsgedächtnis aktiv gehalten, verglichen und gespeichert werden. Danach mussten sie für eine Dauer von 32000 Millisekunden wieder abgerufen und mit den Reaktionstasten reproduziert werden.
- Experiment zur Rhythmuswahrnehmung
Das Modell des Kurzzeitgedächtnisses wurde in Anspruch genommen. Die zu vergleichenden Rhythmen mussten über die Zeit der Präsentation (variable Zeiten aufgrund verschieden langer Rhythmen) präsent gehalten werden, bevor eine Entscheidung über „=“ oder „≠“ gefällt werden konnte.
- Experiment zur Rhythmusreproduktion
Wiederum wurde das Modell des Kurzzeitgedächtnisses in Anspruch genommen. Die Stimuli mussten über die Zeit der Präsentation (variable Zeiten aufgrund verschieden langer Rhythmen) gespeichert werden, bevor sie mit Klopfen wiedergegeben werden konnten.

3.3 Stichprobe

In der Kinderstudie wurden 47 Primarschülerinnen und Primarschüler der 6. Klassen in Stans, Kanton Nidwalden, rekrutiert. Alle Kinder waren körperlich gesund und hatten keine psychischen Auffälligkeiten. Die Lehrpersonen wurden zuerst von der Schulleitung und später von der Versuchsleiterin an einer Sitzung über das Forschungsprojekt informiert, und verteilten später an alle Kinder den Informationsbrief (siehe Anhang) mit der Einverständniserklärung sowie den Fragebogen (Kpt. 3.5.4 und Anhang). Für eine

Teilnahme musste sowohl das schriftliche Einverständnis der Eltern als auch der vollständig ausgefüllte Fragebogen retourniert werden. Danach wurde mit allen Lehrerinnen und Lehrern ein Zeitplan erstellt.

Tabelle 1: Stichprobe n=47

| | Buben | | Mädchen | |
|----------------|--------|----------------|---------|----------------|
| | Anzahl | Alter | Anzahl | Alter |
| Musiker | 9 | 13.1 ± 0.4 | 21 | 12.9 ± 0.5 |
| Nicht- Musiker | 10 | 13.4 ± 0.9 | 7 | 12.7 ± 0.5 |
| Total | 19 | 13.3 ± 0.7 | 28 | 12.9 ± 0.5 |

Die Stichprobe bestand aus 47 Kindern, 28 Mädchen und 19 Jungen (Tabelle 1). Der Altersdurchschnitt (Mittelwert) bei den Mädchen betrug 12.9, und bei den Buben 13.3. Die Standardabweichung und die Altersverteilung schwankte um ± 0.7 bei den Buben und ± 0.5 bei den Mädchen (Abb. 1)

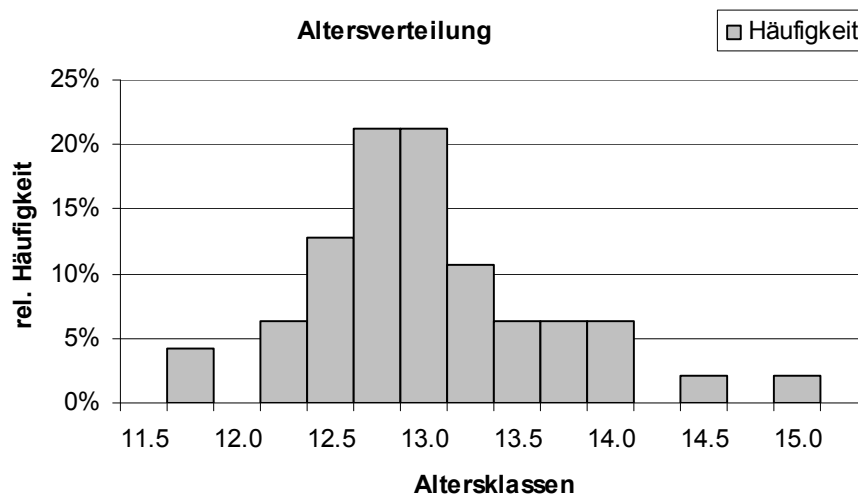


Abb. 1: Altersverteilung der Kinder in %, Intervall ¼-jahr

3.4 Ablauf, Versuchsdesign

Die gesamte Testung fand jeweils in einem kleinen Gruppenraum in drei verschiedenen Schulhäusern in Stans statt. Die Kinder wurden für den Test von der Versuchsleiterin aus dem Unterricht geholt. An einem Tisch sitzend konnten sie die darauf liegende TriModBox leicht bedienen (Abb. 2). Die Box wurde mit dem Laptop der Versuchsleiterin verbunden und über diesen gesteuert. Es gab drei Etappen: das Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis, dann zur Rhythmuswahrnehmung und zuletzt zur Rhythmusreproduktion. Zwischen jeder Etappe wurde eine kleine Pause eingeschaltet.

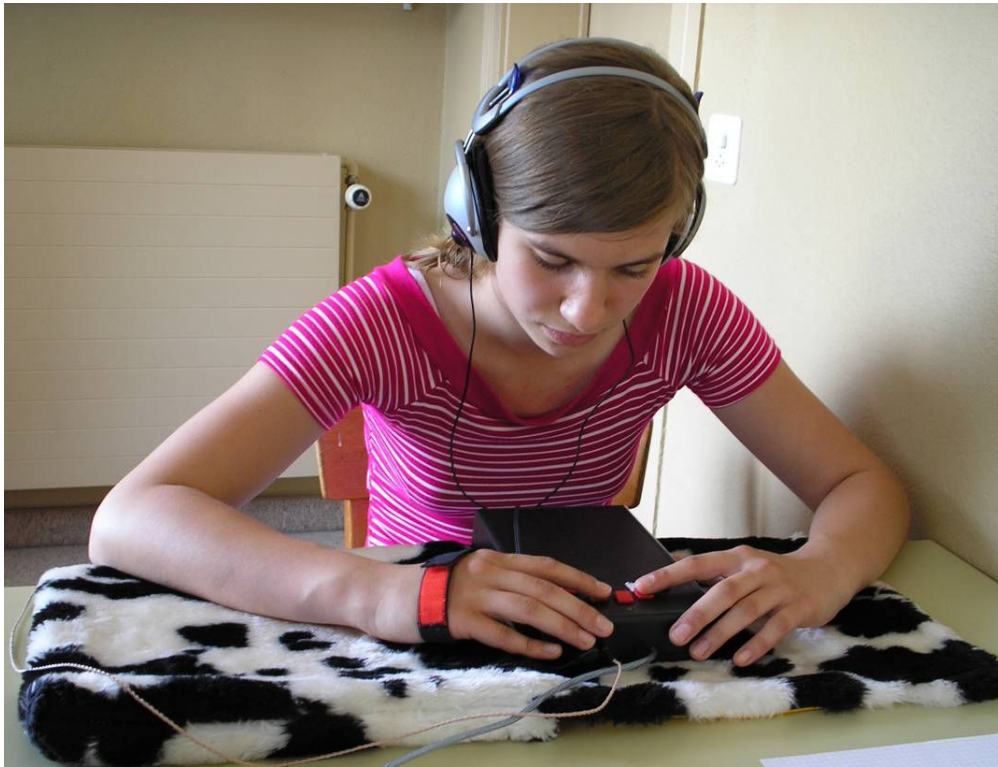


Abb. 2: Dezemila beim Wahrnehmungstest

Zur TriModBox gehören ein Kopfhörer und ein Vibrator, der mit Hilfe eines Gummibandes und mit Klettverschluss an der nicht-dominanten Hand der Versuchsperson angepasst wurde. Die Leuchtdiode auf dem Kästchen war für die Versuchsperson leicht sichtbar.

Alle Kinder absolvierten zuerst den Test zum Arbeitsgedächtnis, danach den Wahrnehmungs- und am Schluss den Wiedergabetest. Jeder Test bestand aus sieben verschiedenen Bedingungen: auditiv (A), visuell (V), taktil (T), auditiv-visuell (AV), auditiv-taktil (AT), taktil-visuell (TV) und auditiv-taktil-visuell (ATV). Nach jedem Test und jeder Bedingung wurde eine kleine Pause eingelegt. Das Kind gab jeweils den Startzeitpunkt zum nächsten Experiment. Die Dauer der gesamten Testung nahm ungefähr eine Stunde in Anspruch. Danach wurde das Kind von der Versuchsleiterin wieder in den Schulunterricht gebracht und das nächste Kind abgeholt.

Damit ergab sich folgendes Versuchsdesign:

| Experiment | Unabhängige oder Kriteriums-Variablen | Abhängige Variable |
|--------------------------------|---|--|
| Rhythmisches Arbeitsgedächtnis | <ul style="list-style-type: none"> • Unimodale Präsentation (A,V,T) • Bimodale Präsentation (AV, AT, TV) • Trimodale Präsentation (ATV) | Anzahl korrekt reproduzierter Rhythmen ($R^2 > 0.40$) |
| Rhythmuswahrnehmung | <ul style="list-style-type: none"> • Auditive Präsentation (A) • Taktile Präsentation (T) • Visuelle Präsentation (V) • Auditiv-visuelle Präsentation (AV) • Auditiv-taktile Präsentation (AT) • Taktil-visuelle Präsentation (VT) • Auditiv-taktil-visuell Präsentation | Anzahl richtiger Antworten |
| Rhythmusreproduktion | <ul style="list-style-type: none"> • Auditive Präsentation (A) • Taktile Präsentation (T) • Visuelle Präsentation (V) • Auditiv-visuelle Präsentation (AV) • Auditiv-taktile Präsentation (AT) • Taktil-visuelle Präsentation (VT) • Auditiv-taktil-visuell Präsentation | <ol style="list-style-type: none"> 1. Präzisionsmass: Geometrisches Mittel der Onset-Zeiten (Präsentation/Reproduktion) 2. Konstanz des Tempos: Standardabweichung des quadratischen Mittelwerts |

3.4.1 Das Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis

Im Arbeitsgedächtnistest wurde spezifisch getestet, ob die Anzahl Modalitäten einen Effekt auf die Leistung hat. Dafür wurden drei verschiedene Rhythmen präsentiert, die sich in Länge (zweimal ein 4/4 -Takt), Zusammensetzung der Noten- und Pausenwerte nicht unterschieden. In allen drei Beispielen wurden fünf Viertelnoten, vier Achtelnoten und eine Viertelpause eingesetzt. Der einzige Unterschied war die Abfolge der Noten- und Pausenwerte (Abb. 6).

Die Präsentation der Rhythmusbeispiele wurde randomisiert. Folgende Reihenfolgen wurden verwendet (Abb. 3):

| Reihenfolge 1 | |
|---------------|---|
| Unimodal | Auditiv, visuell, taktil |
| Bimodal | Auditiv-visuell, auditiv-taktil, taktil-visuell |
| Trimodal | Auditiv-visuell-taktil |

| Reihenfolge 2 | |
|---------------|---|
| Bimodal | Auditiv-visuell, auditiv-taktil, taktil-visuell |
| Trimodal | Auditiv-visuell-taktil, |
| Unimodal | Auditiv, visuell, taktil |

| Reihenfolge 3 | |
|---------------|---|
| Trimodal | Auditiv-visuell-taktil |
| Unimodal | Auditiv, visuell, taktil |
| Bimodal | Auditiv-visuell, auditiv-taktil, taktil-visuell |

Abb. 3: Mögliche Reihenfolgen im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis

Dies führte zu leicht verschiedenen Rhythmen mit möglichst ähnlichen Anforderungen an die Wahrnehmung, an die Arbeitsgedächtniskapazität und an eine Rhythmusreproduktion. Das Experiment erlaubt den Vergleich, ob Kinder leichter lernen, wenn die Information uni-, bi- oder trimodal präsentiert wird.

3.4.2 Das Experiment zur Rhythmuswahrnehmung

Der zweite Teil des Versuchs prüfte die Wahrnehmung. In einem „Same-Different-Task“ wurden die Kinder aufgefordert, so schnell wie möglich zu beurteilen, ob zwei präsentierte Rhythmen gleich oder verschieden waren. Dazu wurde je eine Reaktionstaste auf der TriModBox mit „=“ beziehungsweise mit „≠“ markiert. Das Kind wurde mit einem Warnstimulus darauf aufmerksam gemacht, dass die nächste Aufgabe beginnt. Sie hörten, sahen oder spürten die Rhythmen einmal, mussten nach der Präsentation des zweiten Rhythmus sofort die entsprechende Reaktionstaste drücken.

Das Programm präsentierte die Stimuli immer im selben Tempo (90 beat/minute) und der gesamte Ablauf konnte weder beschleunigt noch verlangsamt werden. Insgesamt wurden 14 Stimuluspaare präsentiert.

3.4.3 Das Experiment zur Rhythmusreproduktion

Das dritte Experiment widmete sich der Rhythmusreproduktion. Die gehörten, gesehenen oder gespürten Stimuli mussten möglichst genau und in demselben Tempo wiedergegeben werden. Dazu benutzten die Kinder die markierte „Klopffläche“ auf der TriModBox. Unter dieser Fläche befand sich ein Mikrophon welches die reproduzierten Rhythmen aufnahm. Das ganze Experiment umfasste 14 Rhythmen, welche einmalig präsentiert wurden. Danach hatten die Kinder 30'000 ms Zeit, den Rhythmus nachzuklopfen, bevor ein Warnstimulus den nächsten Rhythmus anzeigte. Sie wurden darauf aufmerksam gemacht, dass das Programm ohne Pause weiter läuft und nicht gestoppt werden kann, auch wenn sie mehr Zeit bräuchten. Sie wurden daher aufgefordert, sich bei Unsicherheit sofort auf den nächsten Stimulus einzustellen und sich nicht um die vergangenen Rhythmen zu kümmern.

Der erste Stimulus war ein Übungsbeispiel und wurde nicht in die nachträgliche statistische Auswertung aufgenommen. Ebenfalls ausgeschlossen wurde der letzte Stimulus, der aus einem leichten, bekannten Rhythmus bestand. Dieser letzte Stimulus hatte den Zweck, dass die Kinder das Experiment mit einem Erfolgserlebnis abschliessen konnten.

3.5 Material

3.5.1 Die Tri-Modal-Box (TriModBox)

Um dreimodale Rhythmen applizieren und die Reaktion der Versuchsperson aufzeichnen zu können, wurde die TriModBox neu entwickelt (

Abb. 4). Die TriModBox erlaubt es, sowohl Stimuli in drei Modalitäten zu präsentieren als auch Reaktionen der Versuchsperson aufzuzeichnen.



Abb. 4: Tri-Modal-Box

Die TriModBox ist eine schwarze PVC Kiste (15 x 20 x 2cm), welche eine gelbe LED, fünf Reaktionstasten, einen Kopfhöreranschluss, einen Anschluss für einen Tactor und ein eingebautes Mikrophon hat. Sie wird durch die USB Schnittstelle eines PC mit Strom versorgt und angesteuert. Dies erlaubt die zeitgenaue Aktivierung aller Modalitäten entweder einzeln oder in beliebiger Kombination.

Die LED oberhalb der Reaktionstasten übernimmt die visuelle Stimulation. Der Kopfhörer (Philips) für die auditorische Stimulation wird an der Seite angeschlossen, ebenso der Tactor (VBW32 Skin Transducer, Audiological Engineering) für die taktile Stimulation. Der Tactor passt bequem in die Hand der Versuchspersonen und lässt sich mit einem elastischen Band und einem Klettverschluss problemlos an verschiedene Handgrößen anpassen.

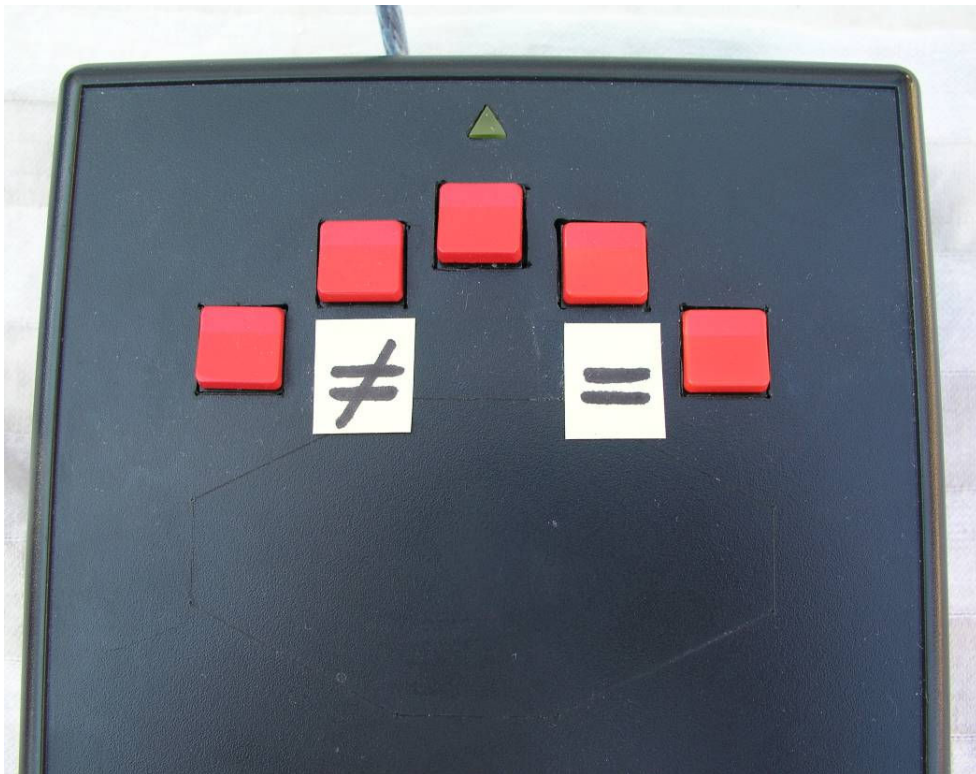


Abb. 5: Reaktionstasten, LED & und Einkerbung der Klopffläche

Die fünf verschiedenen Reaktionstasten sind ergonomisch so angeordnet, dass sie sowohl für Links- wie auch für Rechtshänder angenehm zu bedienen sind. Zeige-, Mittel-, Ring- und der kleine Finger können unabhängig aufgenommen werden.

In der oberen Hälfte der TriModBox, etwas unterhalb der Reaktionstasten, ist das Mikrophon eingebaut. Eine kleine achteckige Einkerbung zeigt das ideale „Klopf-Feld“ an, wo das Mikrophon direkt darunter liegt. Die Versuchspersonen können entweder mit den Fingerspitzen oder mit einem Stift auf die Fläche klopfen.

Ein Visual Basic Programm („Tapper Daq“) steuert die Präsentation, den Ablauf und die Aufnahme während des Experiments. Mit den Reaktionstasten der TriModBox können exakte Reaktionsmessungen gemacht werden.

3.5.2 Stimuli

Die Stimuluspräsentation wurde durch das „Tapper Daq“ (Visual Basic Programm) gesteuert. Das Programm erlaubt genaue Eingaben der Tonlängen und der Pausenwerte in diversen Tempi. Mit den Befehlen SND (= auditiv), LED (= visuell) oder VIB (= taktil) kann die Modalität einzeln oder in Kombination mit einer oder mehreren anderen Modalitäten (VIBSND, VIBLED, SNDLED & LEDSVIB) gewählt werden. Im Folgenden werden zu jedem Experiment jeweils drei Stimulusbeispiele abgebildet. Die vollständige Notation für alle Experimente befindet sich im Anhang. Zur besseren Übersicht wurde die Notation mit dem Ton G geschrieben. Um allfällige Vorteile für Musiker zu minimieren, wurden jedoch im Experiment die Rhythmen als rosa Rauschen dargeboten.

- Im Arbeitsgedächtnistest wurden die folgenden drei Rhythmen vorgegeben:



Abb. 6: Beispiele einiger Rhythmen im Experiment zum Arbeitsgedächtnis

- Im Wahrnehmungs- Test wurden beispielsweise folgende Rhythmen vorgegeben:



Abb. 7: Beispiele einiger Rhythmen im Wahrnehmungsexperiment

- Im Reproduktionstest wurden beispielsweise folgende Rhythmen präsentiert:



Abb. 8: Beispiele einiger Rhythmen im Reproduktionsexperiment

3.5.3 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Alle Aufzeichnungen wurden in einem Textfile aufgelistet und in eine Access Datenbank eingelesen. Dies ermöglichte ein einfaches und übersichtliches Transferieren der Daten in Statistikpakete wie SPSS, Excel oder SYSTAT. Für jeden Subtest wurde ein separates Auswertungsprogramm (Visual Basic) entwickelt, der „Reader“. Dieser erlaubte es, die Daten grafisch darzustellen. Eine grafische Darstellung ist im Experiment zur Rhythmusreproduktion wie auch im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis sehr wichtig. Damit kann die Präsentation der Stimuli mit der reproduzierten Antwort der Versuchspersonen einzeln verglichen werden. Diesem Vergleich wird zudem eine

Kontrollfunktion zugeschrieben. Es erlaubte beispielsweise, die Transformation der Rohdaten (spikes) in der Rhythmusreproduktion zu überprüfen.

3.5.3.1 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis

Die Daten wurden erst in ein Textfile geschrieben. Dort wird der Name der Versuchsperson, der Skriptname, gefolgt von der gerade präsentierten Bedingungen (A, T, V, AT, AV, VT, AVT) und dem Datum der Aufnahme gespeichert. Im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis wurden alle zugehörigen Programmeinheiten mit dem Skriptnamen „SYNC“ bezeichnet.

```
=====
=== Log File created with TAP-Box version 0.0.3 alpha ===
=====
```

Subject name Petra Muster
Script name sync_snd2.tbc
Log creation 2005 0523 0731

```
-----
MSec Nbr  dMS  Btn  Mic
60    0    60   0    2500
182   0    122  0    2500
185   0     3   0    2500
186   0     1   0    2500
```

| | |
|-------|---|
| MSec: | Millisekunden |
| Nbr: | Nummer, zählt Sequenzen |
| dMS: | Millisekunden Auflösung, sampling rate |
| Btn: | Reaktionsknopfcode |
| Mic: | Mikrophonwert |

Abb. 9: Logfile und Legende im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis

Zur weiteren Verarbeitung wurden die Daten in eine Access Datenbank eingelesen und mit den Daten des Fragebogens verbunden. Dies erlaubte eine einfache Selektion und Transfer der interessierenden Daten in Excel, SPSS oder SYSTAT.

Die vorgegebene rhythmische Sequenz wurde mit den reproduzierten Sequenzen kreuzkorreliert. Korrelationen $p > 0.40$ wurden in die Auswertung der Sequenzen aufgenommen und solche mit einem Sequenzabstand von zehn Schlägen als korrekt bezeichnet und ausgezählt. Die Häufigkeit der so gefundenen Ereignisse wurde mit den berechneten Erwartungswerten mittels χ^2 getestet.

Die grafische Darstellung der Daten im rhythmischen Arbeitsgedächtnis ermöglicht es, jede Aufgabe einzeln zu betrachten. Daraus können Informationen über das verwendete Script, die Stimuli und über das Antwortverhalten der Versuchsperson gewonnen werden. Die Daten werden mit „load“ in das grafische Display geladen. „Do all“ erlaubt alle Scripts auf einmal in der Datenanzeige aufzulisten. Mit dem Button „Save DB“ kann die vorgesehene Access Datenbasis gespeichert werden. „Save in“ erlaubt eine Speicherung über einen selbst gewählten Pfad.

Im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung können die Daten zusätzlich als Textfile „Save -> txt“ gespeichert werden. Ansonsten bleibt die Bedienung für alle drei „Tap-Reader“ gleich.

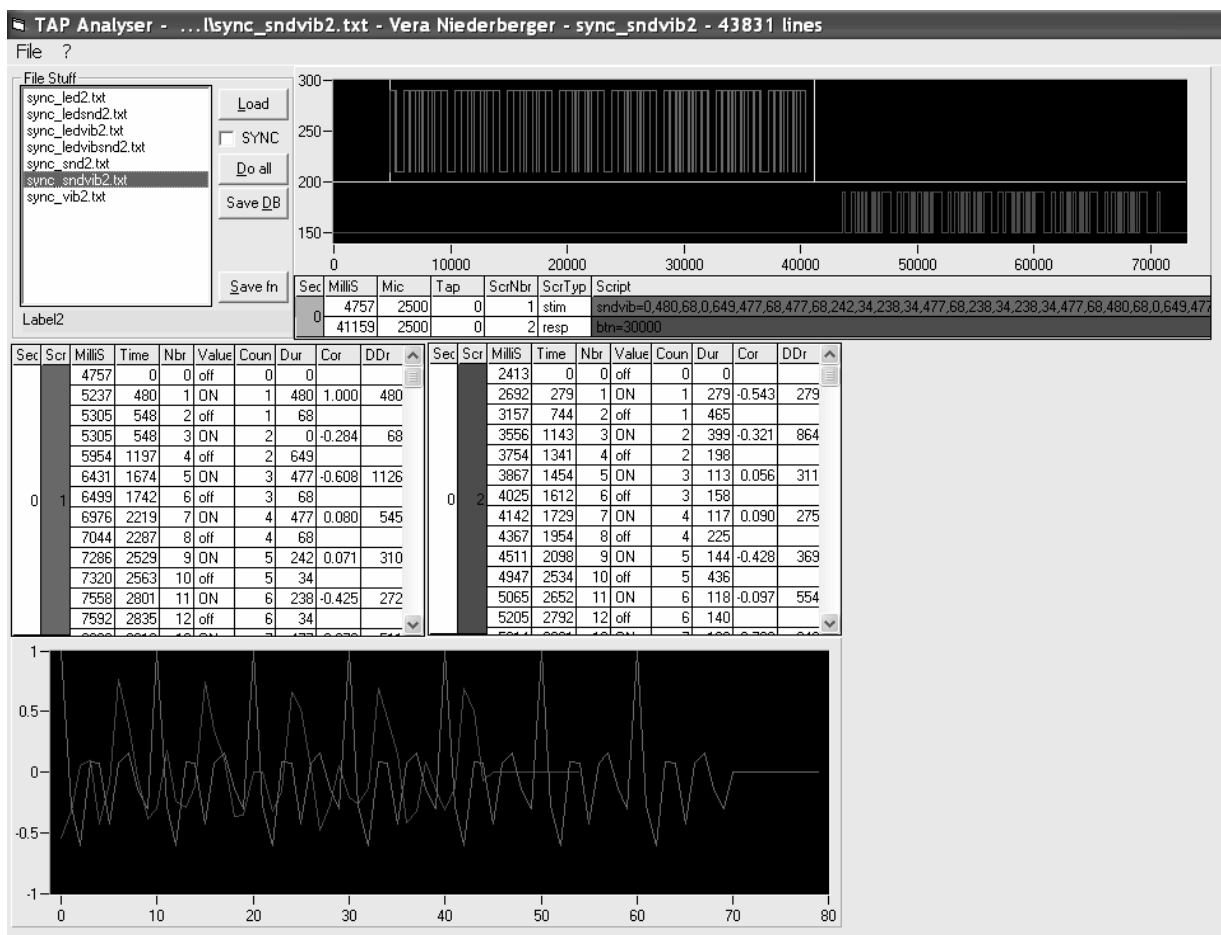


Abb. 10: grafische Darstellung der Daten im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis

3.5.3.2 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung

Das Logfile ist gleich aufgebaut wie im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis. Der Header enthält dieselben Informationen wie oben erwähnt, mit einem unterschiedlichen „Skript name“: REP 1.

```
=====
=== Log File created with TAP-Box version 0.0.3 alpha ===
=====
```

Subject name Petra Muster
Script name REP 1 - VIB LED.tbc
Log creation 2005 0523 0751

| MSec | Nbr | dMS | Btn | Mic |
|------|-----|-----|-----|------|
| 25 | 0 | 25 | 0 | 2500 |
| 38 | 0 | 13 | 0 | 2500 |
| 40 | 0 | 2 | 0 | 2500 |
| 42 | 0 | 2 | 0 | 2500 |

| |
|--|
| MSec: Millisekunden Nbr: Nummer, zählt Sequenzen dMS: Millisekunden Auflösung, sampling rate Btn: Reaktionsknopfcode Mic: Mikrophonwert |
|--|

Abb. 11: Logfile und Legende im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung

Die mit den Reaktionsknöpfen gegebenen Antworten werden zusammen mit den präsentierten Daten als Textfile gespeichert. Diese wurden automatisch analysiert, die richtigen und falschen Antworten und die dazugehörigen Zeitwerte bestimmt. Die so erhaltenen Daten werden in einer Access Datenbank gespeichert und für die statistische Auswertung im Excel aufbereitet.

Vom Excel werden die Daten ins SYSTAT transferiert, wo eine gemischte hierarchische Regressionsanalyse gerechnet wird.

Die grafische Darstellung der Daten (Abb. 12) ermöglicht eine visuelle Kontrolle der Stimuli und der gegebenen Antworten. Zudem werden alle Informationen über das verwendete Script aufgezeigt.

RKT Analyser - ...EP 1 - SND LED.txt - Vera Niederberger - REP 1 - SND LED - lines

File ?

File Stuff

REP 1 - LED.txt

REP 1 - SND LED.txt

REP 1 - SND.txt

Load

REP only

Do all

Save -> DB

Save -> txt

dir

| Millis | dMillis | Btn1 | ScrNbr | ScrTyp | SeqNbr | Script |
|--------|---------|------|--------|--------|--------|--------------------------------|
| 1747 | 46 | 0 | 0 | unkn | 0 | wait=1000 |
| 2749 | 1 | 0 | 1 | mark | 0 | vib=400,75,200 |
| 3430 | 1 | 0 | 2 | stim | 0 | SNDLED=0,117,633,47,703 |
| 4941 | 1 | 0 | 3 | unkn | 0 | wait=1000 |
| 5943 | 1 | 0 | 4 | mark | 0 | vib=400,75,200 |
| 6624 | 1 | 0 | 5 | stim | 0 | SNDLED=0,117,633,47,703 |
| 8135 | 1 | 0 | 6 | resp | 0 | btn=3500 |
| 8526 | 5 | 2 | 7 | ANS1 | 0 | |
| 11640 | 4 | 0 | 8 | unkn | 1 | wait=1000 |
| 12649 | 1 | 0 | 9 | mark | 1 | vib=400,75,200 |
| 13330 | 1 | 0 | 10 | stim | 1 | SNDLED=0,117,633,23,352,23,352 |
| 14845 | 1 | 0 | 11 | unkn | 1 | wait=1000 |
| 15847 | 1 | 0 | 12 | mark | 1 | vib=400,75,200 |
| 16528 | 1 | 0 | 13 | stim | 1 | SNDLED=0,117,633,23,352,23,352 |
| 18043 | 1 | 0 | 14 | resp | 1 | btn=3500 |
| 18133 | 5 | 2 | 15 | ANS1 | 1 | |
| 21545 | 4 | 0 | 16 | unkn | 2 | wait=1000 |
| 22553 | 1 | 0 | 17 | mark | 2 | vib=400,75,200 |
| 23495 | 1 | 0 | 18 | stim | 2 | SNDLED=0,117,633,0,375,23,352 |
| 25077 | 1 | 0 | 19 | unkn | 2 | wait=1000 |
| 26080 | 1 | 0 | 20 | mark | 2 | vib=400,75,200 |
| 26763 | 1 | 0 | 21 | stim | 2 | SNDLED=0,117,633,0,375,23,352 |
| 28288 | 1 | 0 | 22 | resp | 2 | btn=3500 |
| 28502 | 5 | 2 | 23 | ANS1 | 2 | |
| 31795 | 5 | 0 | 24 | unkn | 3 | wait=1000 |
| 32802 | 1 | 0 | 25 | resp | 3 | vib=400,75,200 |

| Scr1 | Scr2 | Stim | B1 | R1 | A1 | B2 | R2 | A2 | LP | RcT |
|---|---|------|----|------|-------|----|----|----|-----|-----|
| SNDLED=0,117,633,47,703 | SNDLED=0,117,633,47,703 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 703 | 391 |
| SNDLED=0,117,633,23,352,23,352 | SNDLED=0,117,633,23,352,23,352 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 352 | 90 |
| SNDLED=0,117,633,0,375,23,352 | SNDLED=0,117,633,0,375,23,352 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 352 | 214 |
| SNDLED=0,59,316,23,352,0,375,23,352 | SNDLED=0,59,316,23,352,0,375 | diff | 8 | diff | corr | 0 | | | 375 | 578 |
| SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,35,340,23,352 | SNDLED=0,59,316,12,176,12,176 | diff | 8 | diff | corr | 0 | | | 176 | 600 |
| SNDLED=0,0,375,12,176,12,176,70,680 | SNDLED=0,0,375,23,176,70,680 | diff | 8 | diff | corr | 0 | | | 680 | 6 |
| SNDLED=0,0,375,12,176,12,176,0,375,35,340 | SNDLED=0,0,375,12,176,12,176,0,375,35,340 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 340 | 404 |
| SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,35,340,35,340 | SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,12,176,12,176,12,176,12,1 | diff | 8 | diff | corr | 0 | | | 176 | 291 |
| SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,35,340,35,340,12,176,12,1 | SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,35,340,35,340,12,176,12,1 | same | 8 | diff | wrong | 0 | | | 680 | 6 |
| SNDLED=0,29,159,12,176,35,340,70,680,59,316,12,176,12,1 | SNDLED=0,29,159,12,176,35,340,70,680,59,316,12,176,12,1 | same | 8 | diff | wrong | 0 | | | 680 | 37 |
| SNDLED=0,59,316,23,352,70,680,35,340,23,352,47,703 | SNDLED=0,59,316,23,352,70,680,35,340,23,352,47,703 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 703 | 6 |
| SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,35,340,23,352,12,176,12,1 | SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,12,176,12,176,12,176,12,1 | diff | 8 | diff | corr | 0 | | | 680 | 6 |
| SNDLED=0,59,316,23,352,23,352,23,352,70,680,47,703 | SNDLED=0,59,316,23,352,0,352,23,352,70,680,47,703 | diff | 2 | same | wrong | 0 | | | 703 | 42 |
| SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,0,750,70,680,47,703 | SNDLED=0,59,316,12,176,12,176,0,750,70,680,47,703 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 703 | 6 |
| SNDLED=0,0,750,12,176,12,176,12,176,70,680,70,68 | SNDLED=0,0,750,12,176,12,176,12,176,12,176,70,680,70,68 | same | 2 | same | corr | 0 | | | 352 | 676 |

Abb. 12: Auszug aus der grafischen Datendarstellung zum Wahrnehmungsexperiment

3.5.3.3 Datenaufzeichnung, Datenverarbeitung und statistische Auswertung der Daten im Experiment zur Rhythmusreproduktion

Die reproduzierten Rhythmen wurden mit Hilfe des Mikrophons innerhalb der TriModBox aufgezeichnet und als Textfile gespeichert. Die Textfiles wurden automatisch analysiert, die Zeitwerte in einer Accessdatenbank gespeichert und für die statistische Auswertung im Excel aufbereitet. Die in den Textfiles gespeicherten und enkodierten Ereignisse (reproduzierte Rhythmus- Schläge der Kinder) konnten durch einen adaptiven „Peak-Detektions-Algorithmus“ detektiert werden. Danach wurden die Intervalle zwischen allen Schlägen bestimmt. Für alle Sequenzen wurden die Verhältnisse zwischen den reproduzierten und den vorgegebenen Schlägen berechnet.

Das Logfile besteht wiederum aus dem bereits bekannten Header und den Daten. Der Skriptname für das Reproduktionsexperiment ist „TAP“.

| | | | | |
|---|-----|-----|-----|------|
| ===== | | | | |
| === Log File created with TAP-Box version 0.0.3 alpha === | | | | |
| ===== | | | | |
| Subject name Petra Muster | | | | |
| Script name vibledsnd_tap.tbc | | | | |
| Log creation 2005 0523 0821 | | | | |
| ----- | | | | |
| MSec | Nbr | dMS | Btn | Mic |
| 44 | 0 | 44 | 0 | 2500 |
| 57 | 0 | 13 | 0 | 2500 |
| 59 | 0 | 2 | 0 | 2500 |
| 61 | 0 | 2 | 0 | 2500 |

MSec: Millisekunden
 Nbr: Nummer, zählt Sequenzen
 dMS: Millisekunden Auflösung, sampling rate
 Btn: Reaktionsknopfcode
 Mic: Mikrophonwert

Abb. 13: Logfile und Legende zum Rhythmusreproduktionsexperiment

Die errechneten Masse (Logarithmus des geometrischen Mittels und dessen Streuung, RMS) gelangten in die statistische Auswertung. Das geometrische Mittel gibt an, ob die Kinder das vorgegebene Tempo von 90 bpm im Durchschnitt gehalten haben. Die Standardabweichung des geometrischen Mittels gibt an, wie genau sie den Rhythmus reproduziert haben.

Für die statistische Analyse wurden sowohl die Logarithmen der geometrischen Mittelwerte und deren Standardabweichungen (RMS, root mean square) verwendet, da diese Masse eine besser Normalverteilung bei Verhältnisdaten aufweisen.

Als statistisches Verfahren wurde eine gemischte hierarchische Regressionsanalyse gerechnet mit den kategorialen Faktoren „Bedingung“, „Anzahl Schläge im präsentierten Rhythmus“ und „Instrumentalisten ja / nein“.

In der grafischen Darstellung des Experiments zur Rhythmuswahrnehmung kann neben dem „Onset“ auch der Schwellenwert („Thres“) bestimmt werden. Dieser dient dazu, dass für jedes Kind und für jeden einzelnen reproduzierten Rhythmus individuell der optimale Schwellenwert bestimmt werden konnte.

Das Interface ist ansonsten mit den beiden anderen Interfaces zu vergleichen und gibt auch hier alle Information über das Script, die Stimuli und die reproduzierten Schläge.

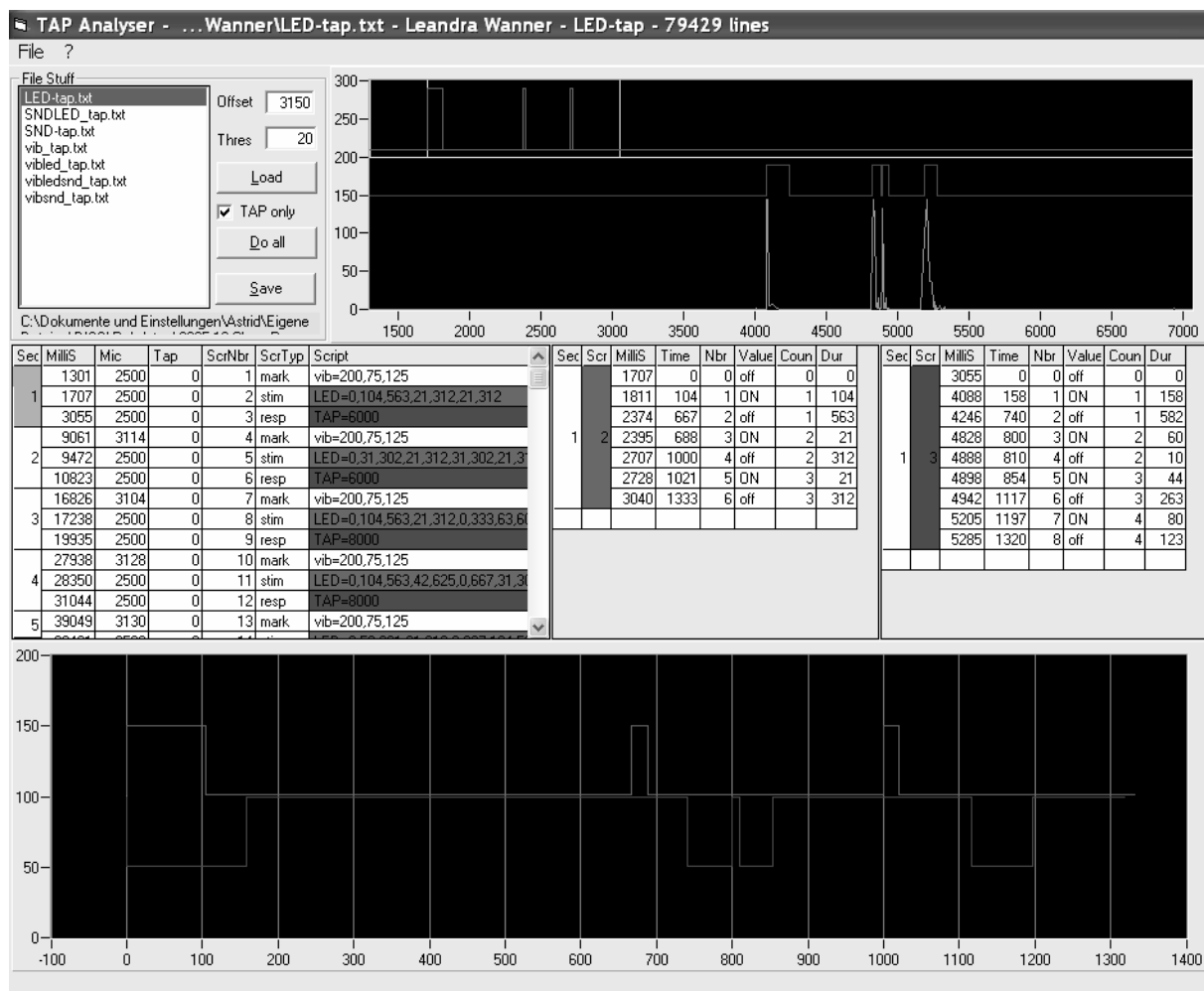


Abb. 14: „Tap-Reader“ Rhythmusreproduktion

3.5.4 Fragebogen

Der Fragebogen (Abb. 15) wurde im Hinblick auf eine online-Plattform entwickelt. In dieser Studie wurde getestet, ob die Fragen für die Versuchspersonen (oder deren Eltern) verständlich sind. Neben den Personendaten wurde die Frage ausgewertet, ob das Kind ein Instrument spielt oder nicht. Zusätzlich erhoben wurden die Dauer des Musizierens (in Jahren) und die Intensität des Übens (in Stunden pro Woche).

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| Musikinstrumente (des Kindes) | keine | |
| | Holzblas-Instrument | |
| | Blechblas-Instrument | |
| | Streich-Instrument | |
| | Zupf-Instrument | |
| | Tasten-Instrument | |
| | Ziehharmonika | |
| | Schlaginstrument (Trommeln, Xylophone, Schlagzeug, Pauke) | |
| | Gesang | |
| | Andere | |
| Musik spielen | Std./ Woche | |
| Musik spielen seit | Anzahl Jahren | |
| Musik hören | Std./ Woche | |

- Holzblasinstrumente: Flöten, Klarinette, Oboe, auch Querflöte
- Blechblasinstrument: Trompete, Posaune, Horn, Tuba
- Streichinstrument: Geige, Viola, Cello, Kontrabass
- Zupf: Harfe, Gitarre, Zither
- Tasten: Klavier, Keyboard, Orgel, Cembalo
- Ziehharmonikas: Akkordeon, Schwyzerörgeli
- Schlaginstrument: Trommeln, Schlagzeug, alle Orffinstrumente
- Gesang: Chor, Gesangstunden

Mehrere Antworten möglich!
Wenn unklar, einfach den Namen des Instruments hinschreiben.

Std./ Woche = wie viele Stunden pro Woche wird das Instrument durchschnittlich gespielt (üben und Musikstunde)
Anzahl Jahre = seit wie vielen Jahren

Abb. 15 Ausschnitt aus dem Fragebogen

Die Art des Musikinstruments konnte in die Analyse nicht mit einbezogen werden. Einerseits wurde der auditive Stimulus so gewählt, dass keine Begünstigungen für spezifische Instrumente vorhanden waren. Andererseits ist die Stichprobe von 47 Kindern, wovon 30 ein Instrument spielten, zu klein, um derartige Subgruppen testen zu können.

4. Resultate

4.1 Die Resultate des Experiments zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis

Im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis interessiert nicht, welche Modalität zur besseren Leistung führt. Vielmehr wird untersucht, ob mit unimodaler, bimodaler oder trimodaler Präsentation eine bessere Leistung erzielt wird. Die Resultate

Abb. 16) sind bereits aus der Grafik ersichtlich. Die meisten stimulusgetreuen Reproduktionen ($R^2 > 0.40$) wurden mit der trimodalen Präsentation (avg = 254) erzielt, gefolgt von der bimodalen (avg = 163.3) und der unimodale Bedingung (avg = 95.3). Von jeder Bedingung zur nächsten wurde die Anzahl der gefundenen Rhythmussequenzen fast verdoppelt. Die trimodale Bedingung zeigt die vierfache Leistung der unimodalen Bedingung auf. Im Chi²- Test werden die Vergleiche zwischen uni-, bi- und trimodal signifikant.

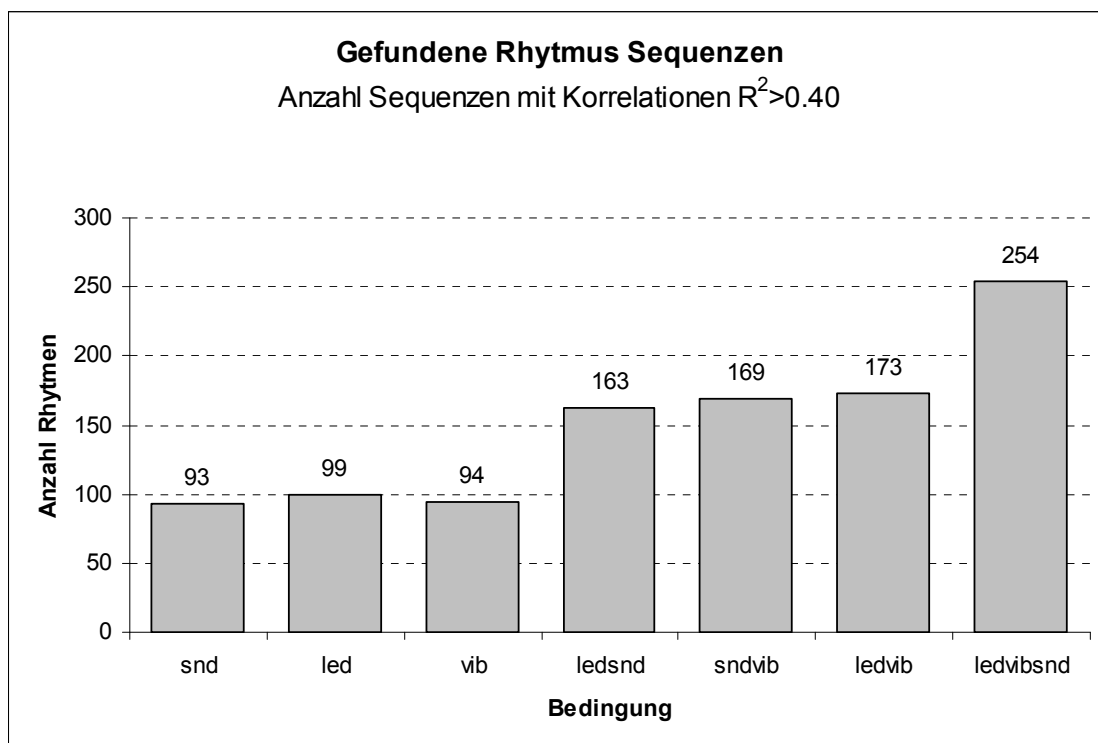


Abb. 16: Anzahl korrekt wieder gegebener Rhythmen im Arbeitsgedächtnisexperiment (snd= auditiv; led= visuell; vib= taktil; ledsnd= visuell- auditiv; sndvib= auditiv- taktil; ledvib= visuell- taktil; ledvibsnd= visuell- taktil- auditiv)

Tabelle 2: Chi2- Testergebnisse zum Arbeitsgedächtnisexperiment (A: auditiv; T:taktil; V:visuell)

| | A | V | T | AV | AT | VT | AVT |
|----------|-----------|------|------|--------|-------|-------|-----|
| Gefunden | 93 | 99 | 94 | 163 | 169 | 173 | 254 |
| Erwartet | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 168.3 | 168.3 | 168.3 | |
| Chi2 | 0.897 | | | 0.860 | | | - |
| Gefunden | 95.3 | | | 168.3 | | | 254 |
| Erwartet | 172.6 | | | 211.17 | | | 254 |
| Chi2 | 2.314E-14 | | | | | | |

Tabelle 3: Ergebnisse zur Auswertung Musiker versus nicht- Musiker

| | A | V | T | AV | AT | VT | AVT |
|--------------------------------|------------------|----------|----------|------------------|-----------|-----------|------------|
| Musiker | 47 | 70 | 54 | 105 | 106 | 112 | |
| Nicht Musiker (Erwartungswert) | 46 | 29 | 40 | 58 | 63 | 61 | 90 |
| Chi2 | 9.831E-07 | | | 3.990E-14 | | | - |
| Musiker | 47 | 70 | 54 | 105 | 106 | 112 | 164 |
| Nicht Musiker (Erwartungswert) | 46 | 29 | 40 | 58 | 63 | 61 | 90 |
| Chi2 | 4.287E-24 | | | | | | |

4.2 Die Resultate des Wahrnehmungsexperiments

Die korrekten Antworten im Wahrnehmungsexperiment wurden mit einer gemischten hierarchischen Regressionsanalyse statistisch verarbeitet. Diese zeigte für alle Modalitäten signifikante Resultate. Das auditorische System trägt am meisten zu einer korrekten Antwort bei ($p < 0.001$), gefolgt vom visuellen ($p < 0.001$) und dem taktilen System ($p < 0.01$). Zusätzlich zu diesen linearen Effekten ergab sich ein Kreuzeffekt von visuellem und auditorischem System ($p < 0.05$).

Tabelle 4: Standardisierte gemischte hierarchische Regressionsanalyse

| Variable | Schätzung | Fehler | Z – Wert | P – Wert |
|-----------------|------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Intercept | 0.803 | 0.010 | 79.474 | 0.000 |
| Taktil | -0.017 | 0.006 | -2.818 | 0.003 |
| Visuell | -0.021 | 0.006 | -3.505 | 0.000 |
| Auditiv | -0.047 | 0.006 | -7.757 | 0.000 |
| Auditiv-Visuell | -0.012 | 0.006 | -2.016 | 0.044 |

Die musikalische Ausbildung hatte auf die Leistung im Wahrnehmungstest keinen Einfluss ($p > 0.05$).

4.2 Die Resultate des Experiments zur Rhythmusreproduktion

Für die statistische Analyse der Rhythmusreproduktion wurden zwei separate hierarchische Regressionsanalysen durchgeführt. Die erste Analyse mit dem geometrischen Mittel beantwortet zum einen die Frage nach der Präzision der Rhythmusreproduktion und zum anderen, ob die sieben Bedingungen dabei einen Einfluss hatten.

Tabelle 5: Hierarchische Regressionsanalyse zur Präzisionsauswertung: Geometrisches Mittel

| Variable: NAME | Estimate | Standardized Error | Z | p-value |
|---|-----------------|-------------------------------|----------|----------------|
| Bedingung „Modalität“ | | | | |
| | -0.1901 | 0.0092 | -20.6787 | 0.0000 |
| Tactile | -0.0285 | 0.0030 | -9.5539 | 0.0000 |
| Auditory | 0.0143 | 0.0028 | 5.0780 | 0.0000 |
| Tactil-Auditory | 0.0071 | 0.0029 | 2.4409 | 0.0147 |
| Visual | -0.0374 | 0.0033 | -11.2913 | 0.0000 |
| Visual-Tactil | -0.0169 | 0.0030 | -5.6270 | 0.0000 |
| Auditory-Visual | 0.0341 | 0.0029 | 11.7516 | 0.0000 |
| Auditory-Visual-Tactile | 0.0274 | 0.0028 | 9.6358 | 0.0000 |
| Anzahl Schläge pro Aufgabe (work load) | | | | |
| 3 | 0.0461 | 0.0057 | 8.0859 | 0.0000 |
| 4 | 0.0540 | 0.0050 | 10.7237 | 0.0000 |
| 6 | -0.0289 | 0.0029 | -9.8070 | 0.0000 |
| 10 | -0.0858 | 0.0026 | -32.7399 | 0.0000 |
| 12 | -0.1044 | 0.0033 | -31.7956 | 0.0000 |
| 16 | 0.1056 | 0.0024 | 43.1354 | 0.0000 |
| 18 | 0.0134 | 0.0035 | 3.8587 | 0.0001 |
| | | | | |
| Totale Übungsstunden der Musiker | -0.0179 | 0.0091 | -1.9636 | 0.0496 |

In der Präzisionsauswertung (in Tab. 5 Bedingung „Modalität“) wurden alle Bedingungen hochsignifikant ($p < 0.001$) ausser bei der auditiv-taktilen (vibsnd) Kombination. Diese war mit einem p-Wert von $p < 0.05$ signifikant.

In einer Posthoc-Analyse wurde mit demselben statistischen Verfahren der „work load“ des Arbeitsgedächtnisses berechnet (in Tab. 5 Anzahl Schläge pro Aufgabe „work load“). Die Annahme hierfür war, dass je mehr Schläge pro Aufgabe bewältigt werden mussten, desto höher der „work load“ und desto schwieriger die Aufgabe. Diese Hypothese war richtig und war für alle berechneten Schläge signifikant. Hier ist ein Musikereffekt zu erkennen. Im Gegensatz zur Rhythmuswahrnehmung und zur Präzisionsauswertung zeigt hier die musikalische Ausbildung einen signifikanten Effekt ($p < 0.05$). Musikalische trainierte Kinder meisterten den „work load“ besser als musikalische Laien, unabhängig davon, in welcher Bedingung die Rhythmen präsentiert wurden.

Tabelle 6: Hierarchische Regressionsanalyse, RMS Geometrisches Mittel (SD für Geometrische Mittel)

| Variable | Estimate | Standardized Error | Z | p-value |
|---|----------|--------------------|----------|---------|
| Intercept | 0.4374 | 0.0135 | 32.3183 | 0.0000 |
| Tactile | 0.0380 | 0.0058 | 6.5801 | 0.0000 |
| Auditory | -0.0368 | 0.0054 | -6.7645 | 0.0000 |
| Tactile-auditory | -0.0073 | 0.0057 | -1.2835 | 0.1993 |
| Visual | 0.0498 | 0.0064 | 7.7699 | 0.0000 |
| Tactile-visual | 0.0029 | 0.0058 | 0.4959 | 0.6200 |
| Auditory-visual | -0.0143 | 0.0056 | -2.5479 | 0.0108 |
| Auditory-visual-tactile | -0.0324 | 0.0055 | -5.8832 | 0.0000 |
| Anzahl Schläge pro Aufgabe (work load) | | | | |
| 3 | -0.3867 | 0.0110 | -35.0069 | 0.0000 |
| 4 | -0.3143 | 0.0097 | -32.2454 | 0.0000 |
| 6 | -0.0986 | 0.0057 | -17.2956 | 0.0000 |
| 10 | 0.1228 | 0.0051 | 24.1981 | 0.0000 |
| 12 | 0.0702 | 0.0064 | 11.0382 | 0.0000 |
| 16 | 0.2704 | 0.0047 | 57.0538 | 0.0000 |
| 18 | 0.3362 | 0.0067 | 49.9440 | 0.0000 |
| Totale Übungsstunden der Musiker | | | | |
| | 0.0361 | 0.0134 | 2.6976 | 0.0070 |

Die statistische Auswertung für die Konstanz des Tempos zeigt ein ähnliches Muster wie diejenige der Präzision. Zwei bimodale Bedingungen TA (vibsnd) und TV (vibled) wurden jedoch nicht mehr signifikant, konnten also als Doppelkombination nicht mehr zu einer besseren Leistung beitragen. Alle anderen Bedingungen zeigen p-Werte < 0.001 auf, oder im Falle der auditiv-visuellen Bedingung (sndled) einen p-Wert > 0.05 .

Im Gegensatz zur Rhythmuswahrnehmung zeigt die musikalische Ausbildung in der Rhythmusreproduktion einen signifikanten Effekt ($p < 0.05$). Musikalisches Training verbessert damit die Leistung in der Rhythmusreproduktion, unabhängig davon, in welcher Bedingung die Rhythmen präsentiert wurden.

5. Diskussion

Die uni-, bi- und trimodalen Präsentationen mit der TriModBox sind für alle drei Experimente erfolgreich durchgeführt worden. Die Kinder konnten die TriModBox ohne Probleme bedienen und die in Punkt 3.5.3 aufgeführten Aufzeichnungen und Datenanalysen konnten ausgeführt und mit statistischen Analysen weiter verarbeitet werden. Insofern kann die H0 der Hypothese 1, die sich hauptsächlich mit der Testung der neuen TriModBox beschäftigt, verworfen werden. Die Kinder hatten Spaß, und die TriModBox präsentiert und misst die uni-, bi- und trimodalen rhythmischen Stimuli zeitlich genau. Sie kann für weitere Experimente genutzt werden.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Hypothesen thematisch dem Experiment zugeordnet und detailliert diskutiert.

5.1 Experiment des rhythmischen Arbeitsgedächtnisses

Das Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis zeigt klar, dass die Kinder von einer multimodalen Präsentation profitieren. Die bimodale Präsentation führt zu mehr korrekten reproduzierten Rhythmen als die unimodale Präsentation. Die trimodale Präsentation vermag diesen Effekt nochmals zu verstärken. Die Rhythmuspräsentation in drei Modalitäten führt signifikant zur besten Leistung in diesem Test. In anderen Worten: je mehr Modalitäten den Kindern zur Verfügung standen, desto besser wurde ihre Leistung in diesem Experiment. Damit kann die H0 der Hypothese 2b für das Experiment des rhythmischen Arbeitsgedächtnisses klar verworfen werden.

Betrachtet man die Resultate im Sinne des Gedächtnismodells nach Atkinson und Shiffrin (1968), so kann hier eindrücklich gezeigt werden, dass dreimodale Stimulation die Gedächtnisleistung steigert¹.

Baddeley (1986) diskutiert für das Arbeitsgedächtnis drei Komponenten: eine zentrale Exekutive, die phonologische Schleife und den visuell räumlichen Notizblock. Die

¹ Für die bereits bekannten Konzepte und Modelle der Gedächtnispsychologie wurde in Kapitel 5 folgende Literatur verwendet:

- Karnath, H.O. & Thier, P. (2003). Neuropsychologie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. & Mangun, G.R. (2002). Cognitive Neuroscience. The Biology of the Mind. New York, London: W.W. Norton & Company, Inc

beiden letzt genannten Komponenten fungieren als Subsysteme. Während die phonologische Schleife mehrheitlich für akustische und artikulatorische Sprachverarbeitung zuständig ist, verarbeitet der visuell-räumliche Notizblock vor allem visuelle Vorstellungen und Wahrnehmungen. Andere Sinnessysteme werden im Modell von Baddeley nicht erörtert. Im Falle des rhythmischen Arbeitsgedächtnisses könnte diskutiert werden, ob aufgrund der vielen Gemeinsamkeiten zwischen Sprache und Rhythmus (Nazzi & Ramus, 2003; Overy, 2003; Patel, 2006a,b, 2005, 2003; Overy et al., 2002; Ramus, 2002; Ramus et al., 1999; Anvari, 2002; Rose et al., 1999) diese Verarbeitung in die phonologische Schleife fallen würde. In diesem Falle würde das heissen, dass die zeitliche Verarbeitung für kurze, „sprachähnliche“ Stimuli, unabhängig von der Modalität auch in den Kompetenzbereich der phonologischen Schleife fallen würde.

Die Resultate des Experiments zur Gedächtniswahrnehmung zeigen weiter, dass der „facilitation effect“ in der Rhythmusverarbeitung auch auftritt.

Im Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung (Kpt. 5.4) werden die Resultate aller Experimente integriert und diskutiert.

5.2 Experiment zur Rhythmuswahrnehmung

Für die Rhythmuswahrnehmung kann die Nullhypothese 2 a klar verworfen werden. Die signifikanten Resultate der einzelnen Modalitäten, wie auch der Kreuzeffekt des visuellen und auditiven Systems zusammen zeigen, dass Kinder von einer multimodalen Präsentation profitieren. Jede zusätzliche Modalität, ob taktil, auditiv oder visuell, erhöht die Anzahl der korrekten Antworten im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung.

Damit wird gezeigt, dass der aufgrund multimodaler Stimulation bekannte „facilitation effect“ nicht nur in räumlichen Wahrnehmungsexperimenten oder in Experimenten zur Objektlokalisierung auftritt, sondern auch in der Rhythmuswahrnehmung eine Rolle spielt.

Rhythmus ist ein wichtiger Bestandteil von Musik und wird hauptsächlich vom auditorischen System wahrgenommen und verarbeitet (Repp & Penel, 2004) oder aber, bei einer Reproduktion, vom motorischen System ausgeführt. Ersteres bestätigen auch die statistischen Resultate. Die Auditorik zeigte den grössten Effekt (-0.047; $p < 0.001$). Auch

in der nachträglichen Befragung gaben 100 % der Kinder an, dass das auditiv präsentierte Stimulusmaterial am leichtesten zu bewältigen war (Abb. 17). Taktile und visuelle Darbietungen wurden als schwieriger beurteilt.

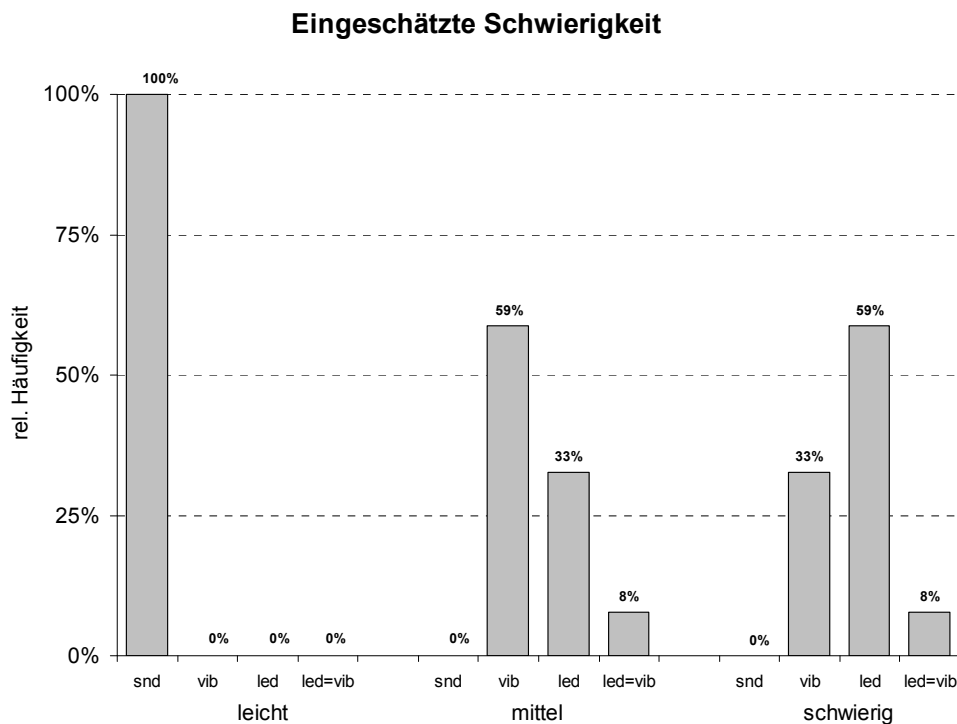


Abb. 17: Von den Kindern beurteilter Schwierigkeitsgrad der Modalitäten (snd= auditiv; led= visuell; vib= taktile; ledsnd= visuell- auditiv; sndvib= auditiv- taktile; ledvib= visuell- taktile; ledvibsnd= visuell- taktile- auditiv)

Die guten Resultate in der visuellen wie auch der bimodalen Präsentation (visuell-auditiv) könnten darauf beruhen, dass das visuelle und das auditive System vor allem in der Sprachwahrnehmung eng zusammenarbeiten. 1976 wurde der McGurk Effekt beschrieben, der eben dieses enge Zusammenspiel betont (McGurk & McDonald, 1976).

Multimodale Präsentation provozieren „Erleichterungseffekte“ (facilitation effects); dies ist aus der Multimodalforschung bereits bekannt (Calvert et al., 1999). Lalanne & Laurenceau (2004) diskutieren in ihrem Review einige Studien, die genau diese Erleichterung in der Wahrnehmung aufzeigen. Die meisten Studien befassen sich

allerdings mit anderen Aufgaben, die hauptsächlich zur Domäne des visuellen Systems gehören: „passive detection“ oder Identifikationsexperimente, sensomotorische Experimente zur Zielmotorik, das Verfolgen oder Explorieren eines Objekts (Zampini et al., 2005; Calvert & Thesen, 2004; Lalanne & Laurenceau, 2004; Frassinetti et al., 2002; Calvert et al., 1998).

Das Ziel dieser Studie war es, zu testen, ob eine multimodale Präsentation die Rhythmuswahrnehmung erleichtern kann.

Der facilitation effect wurde bereits 1993 von Meredith & Stein beschrieben. Ihre Theorie erklärt, dass Stimuli, welche an derselben Position gleichzeitig erscheinen, die perzeptive Sensitivität erhöhen. Auch Lalanne & Laurenceau (2004; siehe auch Sekuler, 1997) betonen die wichtige Rolle der zeitlichen Korrelation. Die Rhythmusstimuli in dieser Arbeit wurden in den bi- oder trimodalen Konditionen zeitgleich präsentiert. Somit kann zur Erklärung der besseren Leistung in der bimodalen Kondition ein Teil der Theorie von Meredith und Stein angewendet werden. Die räumliche Komponente war insofern ähnlich, dass alle Stimuli sehr nah am Rezeptorlevel der Versuchspersonen präsentiert wurden. Der Vibrator war direkt auf der Hand, die Kopfhörer ermöglichten eine Wahrnehmung ohne auditive Distraktoren und den Abstand zum LED stellten die Kinder selber optimal ein. Damit wurde für alle eine bestmögliche Darbietung der Stimuli erreicht. Möglicherweise fungiert diese rezeptornahen Präsentationen ähnlich, wie wenn die Stimuli räumlich nahe beieinander liegen würden. Insbesondere die Kombination von taktilen und auditiven Stimuli verlangt nach den Regeln von Meredith & Stein (1993) etwas Kreativität. Eine räumliche und zeitliche Synchronisation der Stimuluspräsentation würde dann heißen, dass beispielsweise der Arm der Versuchsperson ausgestreckt auf dem Tisch liegt und direkt neben dem Vibrator ein Lautsprecher angebracht wird. In diesem Experimentaldesign wäre dies schwer durchführbar. Zusätzlich schirmten Kopfhörer die Kinder von anderen auditiven Distraktoren ab.

Ein weiterer interessanter Aspekt zur Erklärung der verbesserten Leistung in den multimodalen Bedingungen kann mit dem Gedächtnismodell von Atkinson & Schifffrin (1968) aufgezeigt werden. In ihrem Modell betonen sie die Wichtigkeit der ersten Schritte in einem Gedächtnisprozess. Ein erstes wichtiges Gedächtnissystem, genannt das

sensorische Register, hält sensorische Information für einige Millisekunden reizspezifisch bereit. Der Übergang vom sensorischen Register zum Kurzzeitgedächtnis wird danach mit Hilfe der Aufmerksamkeit gesteuert. Diese Steuerung übernimmt die „zentrale Exekutive“ (Baddeley, 1986). Sie setzt die Prioritäten so an, dass eine erfolgreiche Aufgabenbewältigung möglich wird. Die Aufmerksamkeit muss auf den laufenden Prozess gelenkt werden (Aufmerksamkeitsselektion und -verschiebung) und für die Dauer der Aufgabenbewältigung dort bleiben („Bindung“). Das heisst, dass keine anderen Stimuli während der Ausführung der Aufgabe eine hohe Priorität erreichen sollten. Eine mögliche Erklärung für die Leistungsverbesserung in den multimodalen Bedingungen ist, dass multimodale Stimulation die Aufmerksamkeit stärker bindet und damit den gesamten Aufmerksamkeitsprozess in seinem reibungslosen Ablauf unterstützt. Eine optimale Reizaufnahme und Reizselektion erleichtert die Aufmerksamkeitsselektion und ermöglicht einen reibungslosen Transfer der Information ins Kurzzeitgedächtnis (und später Langzeitgedächtnis). Dies ist nicht nur Grundlage für eine gründliche Speicherung, sondern auch wichtig für den späteren Abruf der Information.

Multimodale Stimulation vermag offensichtlich den ersten Schritt im Gedächtnisprozess zu beeinflussen. Das sensorische Gedächtnis, oder auch sensorische Register, ist die eigentliche Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Gedächtnis. Möglicherweise wird dieses durch mehrere Modalitäten stärker aktiviert, was für die verbesserte Wahrnehmungsleistung verantwortlich sein kann.

5.3 Experiment zur Rhythmusreproduktion

In der Rhythmusreproduktion zeigt sich ein verstärkter Effekt der beiden anderen Experimente. In der trimodalen Bedingung wurden in der Genauigkeit und dem konsistenten Einhalten des Tempos die besten Resultate erzielt, gefolgt von den drei bimodalen Bedingungen. Am wenigsten genaue Reproduktionen, auch tempomässig am inkonsistentesten, wurden nach einer unimodalen Präsentation gemacht.

Während im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung vor allem die Schnittstelle zwischen dem Wahrnehmungs- und dem Gedächtnisprozess von Bedeutung ist, ist bei

der Rhythmusreproduktion einerseits das Kurzzeitgedächtnis wichtig und andererseits der motorische Output. Es kann nun argumentiert werden, dass die oben beschriebenen Vorteile im Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozess eine Speicherung der Information im Kurzzeitgedächtnis begünstigen.

Allerdings genügte die multimodale Präsentation allein nicht, den Vorsprung der musikalischen Bildung wettzumachen. Die Musiker blieben in ihrer Reproduktion tempogetreuer als die Nicht-Musiker. Nachdem bei der Rhythmuswahrnehmung keine Unterschiede zwischen den musikalisch trainierten Kindern beobachtet wurden, profitierten hier diejenigen mit musikalischer Bildung. Dies kann einerseits daran liegen, dass der präsentierte Rhythmus besser im Kurzzeitgedächtnis behalten wurde. Möglicherweise gelang es den Musikern besser, aufgrund geübter Gedächtnisstrategien (chunking), diese Art von Information zu speichern. Ein wichtiger Hinweis dazu gibt die Posthoc-Analyse, welche die Anforderungen ans Arbeitsgedächtnis (work load) der Aufgaben mit einbezieht. Diese Analyse zeigt, dass musikalisches Training für die Länge der Aufgaben (gemessen mit den Anzahl Schlägen, die im Rhythmus reproduziert werden mussten) eine Rolle spielt.

Andererseits werden Musiker gerade darin trainiert, über längere Zeiten genau kontrollierte motorische Muster auszuüben. So erstaunt es nicht, dass diese Fähigkeit sich auf das Konstanthalten des Tempos positiv auswirkt.

5.4 Das Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung

Im Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung (Abb. 18) werden die Aussagen von Atkinson & Shiffrin (1968) und Baddeley (1974) mit den Resultaten der drei beschriebenen Experimente und den Befunden der Multimodalforschung verglichen. Wichtiger Ansatzpunkt für das Testen / Analysieren von Wahrnehmung, Speicherung und Reproduktion ist, wie schon erwähnt, eine deutliche Präsentation. Je klarer eine Präsentation dargeboten wird, desto einfacher gelingt eine eindeutige Wahrnehmung und Identifikation der Stimuli. Typische Beispiele hierfür sind im visuellen System Dämmerungsbilder. Im Übergang von Tag zur Nacht oder auch im Nebel werden Konturen ungenau und wichtige Informationen wie Farben und Kontraste verändern sich.

Dies hat zur Folge, dass Objekte nicht mehr so schnell und nicht mehr sicher erkannt werden. So kann zum Beispiel ein im Dämmerungslicht regungslos stehender Bär in den Wäldern von Neuengland leicht als Busch oder Baumstrunk interpretiert werden.

Im auditiven System kennen wir ähnliche Situationen, in denen die Stimuli nicht direkt und/oder klar präsentiert werden. Bahnhöfe sind ein gutes Beispiel dafür. Die Lautsprecher sind selten direkt auf unser Ohr gerichtet und ausserdem meist sehr weit entfernt von unserem Hörorgan. In diesen Situationen haben Distraktoren einen grossen Einfluss auf den Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozess. Die Geräuschkulisse, bestehend aus heran- oder abfahrenden Zügen, Konkurrenzlautsprechern auf den Nebenterrassen, Koffergeklapper, laut telefonierenden Mitmenschen, quietschenden Bremsen und Ähnlichem, erschwert damit nicht nur eine saubere Reizpräsentation, sondern behindert auch nachfolgende kognitive Prozesse.

Bei den oben genannten Beispielen kann gezeigt werden, dass multimodale Stimulusdarbietung eine Hilfe darstellen kann. Würde beispielsweise der oben genannte Bär zusätzlich zum ungemütlichen Aussehen noch gefährliche Drohlaut ausstossen, käme die Identifikation „Gefahr“ sicherlich schneller.

Im ersten Schritt im Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung wird deshalb die Bedeutung der Modalitäten aufgezeigt. Mehrere Stimuli (S_1 bis S_n ; aus verschiedenen Modalitäten) treffen auf die entsprechenden Rezeptoren (R_1 bis R_n). Diesen Effekt zeigen Seitz et al. (2006) in einem visuellen „low level“ Wahrnehmungsexperiment. Die Verbesserung der Leistungen nach zehn Tagen bimodalem Training waren signifikant besser als nach unimodalem Training.

Zusätzlich von Bedeutung ist, ob die Versuchsperson weiss, auf welchen Stimulus sie achten soll, oder ob sie überrascht wird, in welcher Modalität präsentiert wird. Dieses Vorwissen, gemeinsam mit dem Wissen über die zu bewältigende Aufgabe, wird im Modell als „*Endogenous/Voluntary Attention*“ (Coull et al. 2000) bezeichnet. Diese kann mit Vorwissen bereits auf die Modalität und auf den zu bewältigenden Task fokussiert werden. In der vorliegenden Studie waren die Versuchspersonen auf beides vorbereitet: Sie wussten, welche Aufgabe sie zu bewältigen hatten und auch in welcher Modalität (oder Modalitäten) die Präsentation stattfinden wird.

Eine weiterer Aufmerksamkeitstyp, die exogene Aufmerksamkeit (*exogenous attention*), ist von äusseren, nicht willentlich beeinflussbaren Faktoren abhängig (Coull et al., 2000). Werden beispielsweise in einem „visual motion“ Experiment mehrere Modalitäten in einen Verarbeitungsprozess einbezogen, dann wird die exogene Aufmerksamkeit automatisch stärker auf diesen Verarbeitungsprozess gelenkt (Watanabe & Shimojo, 1998; 2001). Es ist bekannt, dass durch multimodale Präsentation ein Stimulus eher als relevant betrachtet wird und die Wahrnehmungsschwellen gesenkt werden (Meredith & Stein, 1993, Zampini et al., 2005; Calvert & Thesen, 2004; Lalanne & Laurenceau, 2004; Frassinetti et al., 2002; Calvert et al., 1998). Dieses Faktum ist für die Aufmerksamkeit insofern bedeutend, weil relevante Stimuli, wie beispielsweise Schmerz, den Fokus der Aufmerksamkeit leichter auf sich ziehen und gleichzeitig die Loslösung (*disengage*) erschweren (von Bueren et al., 2005). Laut Sanders (1983) übernimmt die „Anstrengung“ die Steuerung des „Arousal's“ und der „Aktivierung“. Es kann nun diskutiert werden, dass multimodale Stimulation dank des „facilitation effect“ die Wahrnehmung erleichtert, und zusätzlich den gesamten Aufmerksamkeitsprozess von der Anstrengung über die Aufmerksamkeitsverschiebung (*disengage, move* und *engage*) bis zu deren Bindung mit weniger Ressourcen in Gang setzt. Diese eben diskutierten Vorteile, das Vorwissen um den *Task*, die Taskspezifität der Modalitäten, der „facilitation effect“ und die durch die multimodale Präsentation ausgelösten Aufmerksamkeitsprozesse werden in einer ersten Integration (*Integration 1*) zusammengeführt. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch, dass in der trimodalen Darbietung (ATV) das auditive System auf jeden Fall mit dabei ist. Wie bereits erwähnt wird die Rhythmuswahrnehmung bevorzugt im auditiven System verarbeitet (Repp & Penel, 2004). Insofern hat der *Task* hier doppelte Bedeutung: einerseits mit dem gesamten Wissen um den Taskinhalt und andererseits mit dem Sinnessystem das für die Rhythmusverarbeitung bevorzugt involviert wird.

Die *Integration 2* integriert alle höher kognitiven Prozesse, die für eine erfolgreich Task-Bewältigung einbezogen werden müssen. Dies führt zur bewussten *Kognition*, die eine Entscheidung ermöglicht und das Antwortverhalten (*motor output* und *response*) auslöst. Im nächsten Durchgang wird das vorangehende Antwortverhalten in Form einer Evaluation einfließen. Diese *Evaluation* kann in den nachfolgenden Durchgängen Einfluss auf die *voluntary attention* nehmen. Bei schwierigen Durchgängen vermag diese

Evaluation im Sinne einer Motivation möglicherweise den Wert der *voluntary attention* zu erhöhen. Bei einer Überforderung hingegen kann das Gegenteil eintreten.

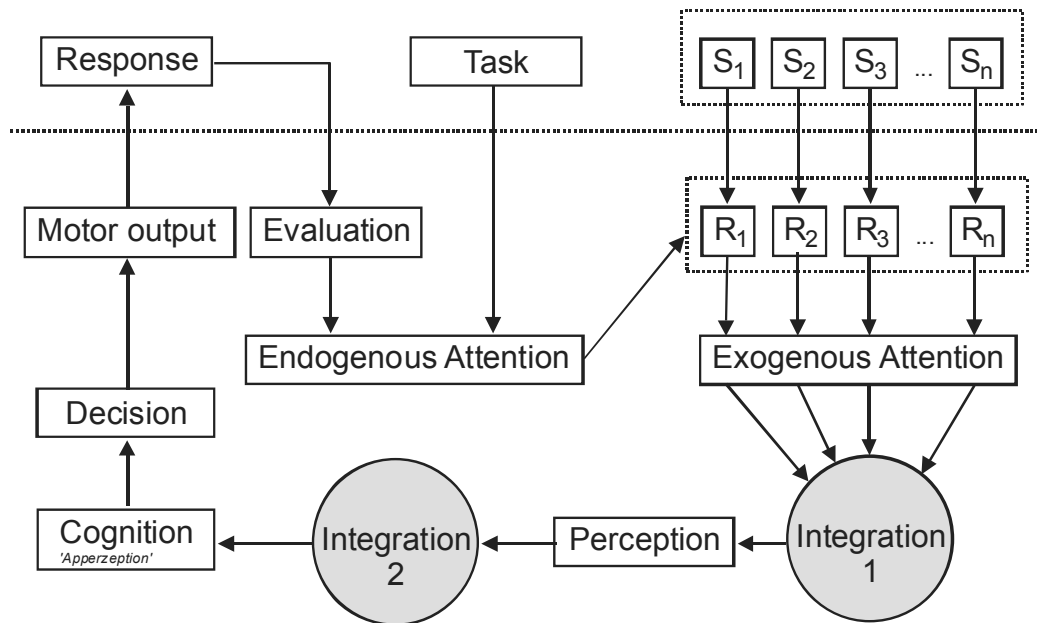


Abb. 18: Das Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung.

S_1 bis S_n sind Stimuli, die in unimodaler, bimodaler oder trimodaler Form präsentiert werden. Die Rezeptoren (R_1 bis R_n) werden von zwei verschiedenen Quellen beeinflusst: einerseits von der willentlich gesteuerten Aufmerksamkeit, und andererseits von der Anzahl und der Art der Stimuli (S_1 bis S_n). Die beiden Aufmerksamkeitsarten (endogenous and exogenous attention) können unterschiedliche Werte annehmen: sind beide Werte positiv, dann tragen sie zu einer Optimierung des Rhythmusverarbeitungsprozesses bei, sind beide negativ dann behindern sie den Verarbeitungsprozess, liegt einer der beiden im positiven und der andere im negativen so können sich die Werte gegenseitig aufheben oder aber mit einem vermindert positiven oder negativen Wert am Prozess Einfluss nehmen. Der Task (Wissen um die Anzahl der Modalitäten; welche Art von Antwortverhalten gefragt ist) kann zusätzlich positiv oder negativ auf die „endogenous attention“ wirken. Je mehr über den Task bekannt ist und je besser er bereits geübt wurde (Vertrautheit mit dem Task, mit dem Taskinhalt, hier im Speziellen mit dem Rhythmus), desto positiver wird der Wert. Ist der Task unbekannt und neu für die Versuchsperson wird der Wert weniger positiv ausfallen. Der Task, die endogenous attention und die von Stimuli und Rezeptoren beeinflusste „exogenous attention“ werden in einer ersten Integration verarbeitet und führen zu einer Wahrnehmung (perception). In der Integration 2 werden alle höheren kognitiven Prozesse einbezogen, die zur Ausführung des gefragten Antwortverhaltens benötigt werden. Dies führt zur eigentlichen Kognition und macht eine Entscheidung möglich. Die Entscheidung löst den „motorischen output“, die Antwort aus. Diese wird danach einer Evaluation (Evaluation) unterzogen und kann damit im Sinne einer „Motivation“ im nächsten Durchgang auf die endogenous attention Einfluss nehmen.

5.6 Ausblick

Interessant wäre es, diese Studie in verschiedenen Altersklassen durchzuführen. So könnten eventuelle entwicklungspsychologische Schritte in der multimodalen Integration wie auch in der multimodalen Rhythmuswahrnehmung, -produktion und -speicherung erarbeitet werden. Zusätzlich erlaubt eine Erhöhung der Versuchspersonen Aussagen über Co-Faktoren. Co-Faktoren könnten beispielsweise verschiedene Lernstörungen sein. Im Zusammenhang mit der Diskussion um die Dyslexie-Theorien und deren Therapien wäre eine grosse Anzahl Kinder mit klar diagnostizierter Dyslexie sicherlich eine interessante Stichprobe. So könnte allenfalls die Studie von Overy (2003) mit multimodaler Stimuluspräsentation und mit einer Kontrollgruppe repliziert werden.

Die Resultate dieser Studie wie auch die Studie von Seitz et al. (2006) öffnen viele Möglichkeiten zur therapeutischen Nutzung. Ein mögliches Beispiel wäre hier die Dyslexie. Dort könnte einerseits die Wahrnehmung von Buchstaben, Lauten, Wörtern und ganzen Sätzen wie auch das grafische Bild der Buchstaben oder Wörter multimodal unterstützt werden. Damit würden die Wörter gehört, gesehen und deren Segmentierung (Wortrhythmus) taktil gespürt. Diese multimodale Präsentation könnte danach auf verschiedenste Art geübt werden. Das Tempo kann kontinuierlich (adaptiv abhängig von der Leistung der Versuchsperson) gesteigert werden, so dass sich die Kinder an schnellere Verarbeitungszeiten gewöhnen. Dieses Training würde der viel zitierten zeitlichen Verarbeitungsstörungen vieler dyslexischer oder sprachbehinderter Kinder entgegenwirken (Tallal, 1980; Edwards et al., 2004; Meyler & Brenitz, 2005). Edwards (2004) zeigte zusätzlich, dass die zeitlichen Verarbeitungsstörungen bei Kindern mit Dyslexie im auditiven System, im visuellen System oder in beiden auftauchen können. Somit wäre eine multimodale Vorgehensweise sinnvoll.

Andererseits kann bei einem solchen Training auch der Fokus der Aufmerksamkeit verändert werden: einmal aufs auditive System konzentriert, dann auf das Visuelle oder auf das Taktile. So können Defizite, egal in welcher Modalität, das Zusammenspiel mit den anderen Modalitäten einüben.

Einen ähnlichen Ansatz könnte in der Aphasie-Therapie verfolgt werden. Je nach Problematik können die Schwerpunkte der Therapie mehr auf die Wahrnehmung gesetzt werden oder auf die Produktion der Sprache. Einen Hinweis in diese Richtung zeigen Boucher et al. (2001). Sie verstärkten zur Therapie von Broca-Aphasie den Rhythmus eines Wortes (basierend auf den Vokalen des Wortes) mit einem akustischen Signal (weisses Rauschen). Die Patienten klopften den Rhythmus nach und übten damit das Sprechen dieser Wörter. Diese Technik hatte im Gegensatz zur Variante, wo eine Melodie mit dem Wort eingeübt wurde, einen positiven Effekt auf die Repetitionsrate der Wörter.

Auch Kleinkinder mit Wahrnehmungsstörungen könnten von einem multimodalen Therapieansatz profitieren. Zusätzlich von Vorteil ist für Kinder im Vorschulalter die enorme Lernfähigkeit, ohne dass bereits ein schulischer Druck vorhanden ist. In der o. g. Studie von Seitz et al. konnten mit bimodaler Stimulation Wahrnehmungsleistungen innerhalb von 10 Tagen verbessert werden. Diese Resultate lassen hoffen, dass kleinkindliche Wahrnehmungsstörungen frühzeitig erfasst und therapiert werden können, bevor sich sekundäre Beeinträchtigungen (Motivationsverlust, Frust, Lernstörungen, die aufgrund der primären Störung auftauchen) aufbauen.

Eine interessante Zusammenarbeit könnte sich hier mit Kindergärtnerinnen ergeben. Diese Stufe beschäftigt sich ausgeprägt mit der Sinneswahrnehmung und testet deren ganzheitliche Entwicklung. Eine Integration spielerischer Therapieformen im Kindergarten würde das Kind zusätzlich von einer Stigmatisierung bewahren.

Methodisch wurde diese Studie lange nicht ausgeschöpft. In dem hier beschriebenen ersten Schritt lag ein Schwerpunkt auf der Inbetriebnahme und Testung der TriModBox. Dies war ein Grund, weshalb methodisch eine Erfassung reiner Verhaltensdaten gewählt wurde. Neue Hypothesen könnten sich der bildgebenden Verfahren wie fMRI und EEG bedienen, welche Einblick in die multimodalen Rhythmusverarbeitungszentren gewähren würden. Interessant wäre hierbei ein kombiniertes Experiment von multimodaler Sprachverarbeitung mit multimodaler Rhythmusverarbeitung.

Neben der Lokalisation von Hirngebieten, die uni-, bi- und trimodal Rhythmen verarbeiten, interessiert jedoch auch die zeitliche Verarbeitung der multimodalen Verarbeitungsprozesse.

Ein weiterer interessanter Aspekt eröffnete sich mit der TDC-Stimulation. Anodale TDCS-Applikation zeigten in neueren Studien eine Verbesserung perzeptiver, motorischer Fähigkeiten (Vines et al., 2006, 2005). Es könnte geprüft werden, ob Leistungen in Sinnessystemen verbessert werden können, die nicht im Sinne der „appropriate hypothesis“ (Welch & Warren, 1980) primär für eine Domäne zuständig sind. Für die Rhythmuswahrnehmung beispielsweise könnte eine Verbesserung des taktilen Sinnessystems geprüft werden. Ein solcher Erfolg würde weitere therapeutische Möglichkeiten eröffnen: Sinnessysteme, die aufgrund einer Hirnverletzung in ihrem Verarbeitungsprozess gestört sind, könnten allenfalls mit Hilfe anderer Sinnessysteme unterstützt werden. Ob dabei die Plastizität des Hirns ausreichen würde, solche induzierten Veränderungen der Verarbeitungsprozesse über längere Zeit zu erhalten, steht jedoch noch zur Diskussion. Das Alter der Patienten, ihre Motivation, die psychische Verfassung, das Ausmass und die Lokalisation der Hirnschädigung, der Zeitpunkt der Schädigung sowie der Trainingsaufwand würden vermutlich dabei von grosser Bedeutung sein.

6. Zusammenfassung

Die Arbeit „Multimodale Rhythmusintegration bei Kindern“ zeigt, dass mit Hilfe der TriModBox eine uni-, bi-, und trimodale Rhythmuspräsentation im taktilen, auditiven und visuellen Sinnessystem durchgeführt werden kann. Gerade für zeitlich kurze Stimuli ist es von grosser Bedeutung, dass sowohl die Präsentation wie auch die Aufnahme ohne Zeitverzögerung gelingen.

Multimodale Stimuluspräsentation führt zu einer besseren Leistung in der Wahrnehmung, Speicherung und Reproduktion von Rhythmen. Die Studie zeigt damit, dass Kinder von einer multimodalen Rhythmus- Präsentation profitieren, und der „facilitation effect“ auch bei der Rhythmusverarbeitung von Bedeutung ist. Multimodale Präsentation erleichtert nicht nur die Wahrnehmung von rhythmischen Stimuli, sondern sie hat auch einen positiven Einfluss auf nachfolgende, höher kognitive Prozesse. Damit wurden die beiden Gedächtnismodelle von Atkinson & Shiffrin (1968) und Baddely (1986) auch für die uni-, bi- und trimodale Rhythmusverarbeitung bestätigt.

Einen weiteren Einfluss auf die Rhythmusreproduktion hat die musikalische Bildung. Kinder mit musikalischer Ausbildung schnitten im Test zur Rhythmusreproduktion besser ab als diejenigen ohne.

Das Modell der multimodalen Rhythmusverarbeitung zeigt auf, wo eine multimodale Stimuluspräsentation eingreift und welche Verarbeitungsschritte davon profitieren. Mit bildgebenden Verfahren wäre es möglich, einerseits das Modell zu überprüfen und andererseits die in der uni-, bi- und trimodalen Rhythmusverarbeitung involvierten Hirngebiete zu erfassen und deren Zusammenspiel wie auch die zeitliche Verarbeitung zu erarbeiten.

Mit multimodaler Präsentation gelingt dem Gehirn eine eindeutigere Stimuluserkennung. Ob dies nun in der Rhythmuserkennung aufgrund erhöhter exogener Aufmerksamkeit der Fall ist, durch die eine Aufmerksamkeitsselektion und -steuerung erleichtert wird, bleibt vorerst unklar und müsste mit bildgebenden Verfahren (beispielsweise fMRI, kombiniert mit EEG) bestätigt werden. Dazu müsste allerdings die TriModBox scannertauglich gestaltet werden.

Die Studie gibt Anregungen für Anwendungen des „facilitation effects“ in therapeutischen Interventionen für Störungen im Wahrnehmungsbereich, Lernstörungen oder Beeinträchtigungen nach Hirnverletzungen diverser Ursachen.

7. Danksagung

Ein grosses Dankeschön geht an Prof. Dr. Gottfried Schlaug, der mir in seinem Team im Music and Neuroimaging Laboratory an der Harvard Medical School in Boston einen Platz ermöglichte und die wissenschaftliche Begleitung der Dissertation in Boston übernahm. Ohne dich wäre so Vieles nicht möglich gewesen. Vielen, vielen Dank!

Das zweite Dankeschön gilt dem Team in Zürich, Prof. Dr. Lutz Jäncke und Dr. Martin Meyer. Sie übernahmen die wissenschaftliche Betreuung an der Universität in Zürich. Ihnen verdanke ich, dass ich überhaupt eine Dissertation in Angriff genommen habe. Vielen Dank für die Motivation, den Ideenaustausch und die Hilfe beim Verfassen des Antrages.

Dr. Alan Natapoff am Aeronautic und Astronautic Department am MIT verdanke ich eine tiefe statistisch-mathematische Weiterbildung und viele interessante Diskussionen über meine Daten, die Statistik, über das Leben und über Gott und die Welt.

Meine Bürokollegen am Beth Israel im Room 108, Dr. Dinesh Nair und Dr. Bradley Vines trugen viel zu einer intensiven, tollen, witzigen und menschlichen Atmosphäre im Büro bei und ermöglichten viele interessante wissenschaftliche Diskussionen!

Ein herzliches Dankeschön geht an meinem Bruder Thomas von Büren. Er stand mir mit seinen Kenntnissen in der Musik, als Computerfachmann und als Toningenieur jederzeit hilfreich zur Seite.

Meine gesamte Familie in der Schweiz unterstützte mich in unzähligen Emails, Karten, Briefen oder Telefonaten, motivierte mich weiter zu machen und verscheuchte mehrmals erfolgreich das Heimweh.

Ein unendliches Dankeschön geht an meinen Ehemann Dr. Thomas Jarchow. Er begleitete mich geduldig und liebevoll durch die Höhen und Tiefen meines Dissertationsprojekts. Sein unerbittlicher Glaube an mich und das Projekt wie auch sein Innovationsgeist halfen mir unzählige Male, das Ziel nicht zu verlieren, sondern im Gegenteil zielstrebig weiter zu denken, forschen, analysieren und formulieren. Ich danke dir von ganzem Herzen, dass du mich auf diesen Weg geschickt und darauf begleitet hast.

Ohne die Schulgemeinde Stans, die Schülerinnen und Schüler, die Lehrerinnen und Lehrer, die Eltern, das Sekretariat, die Schulleitung und die Behörden wäre keine Datenaufnahme zustande gekommen. Ich möchte mich hier ganz herzlich für die Offenheit bedanken, die mir entgegengebracht worden ist.

Finanziell wurde meine Dissertation von zwei Institutionen unterstützt. Der Schweizerische Nationalfonds bewilligte mir 18 Monate Auslandsaufenthalt und ermöglichte mir damit den Aufenthalt an der Harvard Medical School.

Die Schindler Stiftung in Nidwalden unterstützte mich mit einem Beitrag an den Kosten der computertechnischen Entwicklung.

Ich danke beiden Institutionen, dass sie mir dieses Dissertationsprojekt ermöglicht haben.

Referenzen

1. Albert, M., Spark, R. & Helm, N. (1973). Melodic intonation therapy for aphasia. *Archives of Neurology*, 29: 130-131.
2. Alcock, K.J., Wade, D. Anslow, P. & Passingham, R.E: (2000). Pitch and timing abilities in adult left hemisphere dysphasic and right hemisphere damaged subjects. *Brain and Language*, 75 (1) 47-65.
3. Anvari, S.H., Trainor, L.J., Woodside, J. & Levy, B.A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83: 111-130.
4. Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System its Control Processes> In K.W. Spence and J.T. Spence (Eds) *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol 2 (pp 89-195). New York: Academic Press
5. Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G.H. Bower (Ed.). *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 8 (pp 47-89) New York: Academic press.
6. Baumgartner, T., Lutz, K., Schmidt, C.F. & Jäncke, L. (2006). The emotional power of music: How music enhances the feeling of affective pictures. *Brain Research*.
7. Best, S.T., Hoffman, H., Glancille, B.B. (1982). Development of infant ear asymmetries in speech and music. *Percep. Psychophys.* 31: 75-85.
8. Bertoncini, J., Morais, R., Bijeljac-Babic, R. et al. (1989). Dichotic perception and laterality in neonates. *Brain Lang.* 37: 591-605
9. Bolton, T.L. (1893). Rhythm. *American Journal of Psychology*: 6, 145-238.
10. Bücher, K. (1919). *Arbeit und Rhythmus*. 5th Edition B.G. Teuber: Leipzig
11. Calvert, G.A., Brammer, M.J. & Iversen S.D. (1998). Crossmodal Identification. *Trends in Cognities Sciences.* (2) 7: 247-253.
12. Calvert, G.A. & Thesen, T. (2004). Multisensory integration: methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology Paris.* 98: 191-205
13. Chang, H.W. & Trehub, S.E. (1977). Infants' perception of temporal grouping in auditory patterns. *Child Development.* 48:1666-1670.

14. *Compte Rendu*. (1926). Premier Congrès du Rythme. Institut Jacques- Dalcroze, Geneva, Switzerland
15. Coull, J.T., Frith, C.D. Büchel, C. & Nobre, A.C. (2000). Orienting attention in time: behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia*, 38: 808-819.
16. DeGraff, L.M. (1924). Norms on the Sensitiveness to Rhythm. Thesis. University of Iowa: Iowa City.
17. Drake, C. (1997). Motor and perceptually preferred synchronisation by children and adults: Binary and ternary ratios. *Polish Quarterly of Developmental Psychology*, 3: 43-61.
18. Drake, C., Jones, M.R. & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending. *Cognition*, 77: 251-288.
19. Dunlap K. (1907). A new Rhythm and Time Device. *Science*, n.s., 26, 257-258.
20. Dunlap, K. (1911). Rhythm and Time. *Psychology Bulletin*: 8. 239-242.
21. Edwards, T., Giaschi, D.E., Dougherty, R.F., Edgell, D., Bjornson, B.H., Lyons, C. & Douglas, R.M. (2004). Psychophysical Indexes of Temporal Processing Abnormalities in Children with Developmental Dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 25 (3): 321- 354.
22. Farnsworth, F. P., Block, H.A. & Waterman, W.C. (1934). Absolute Tempo. *Journal of General Psychology*: 10, 230-233.
23. Findlay, J.J. (1923). Rhythm and Education. *School and Society*: 17, 1-10.
24. Frassinetti, F., Bolognini, N., Làdavas, E. (2002). Enhancement of visual perception by crossmodal visuo-auditory interaction. *Exp Brain Res*. 147: 332-343.
25. Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. & Mangun, G.R. (2002). *Cognitive Neuroscience. The Biology of the Mind*. New York, London: W.W. Norton & Company, Inc
26. Goldstein, K. (1942). *After effects of brain-injuries in war: Their evaluation and treatment*. New York: Grune & Stratton.
27. Hargreaves, D.J. (1986). *The developmental psychology of music*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

28. Helmholtz, Hermann von. 1863. Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: F. Vieweg
29. Howard, I.P. & Templeton, W.B. (1966). Human Spatial Orientation. London: Wiley.
30. Karnath, H.O. und Thier, P. (2003). Neuropsychologie. Heidelberg: Springer.
31. Kuck, H., Grossbach, M., Bangert, M. & Altenmüller, E. (2003). Brain Processing of Meter and Rhythm in Music Electrophysiological Evidence of a Common Network
32. Lalanne, C. & Laurenceau, J. (2004). Crossmodal integration for perception and action. Journal of Physiology Paris. 98: 265-279.
33. Lerdahl, F. & Jackendoff, R. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. Paperback edition 1985. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
34. McGurk, H. & MacDonald, J.W. (1976). Hearing lips and seeing voices. Nature, 264: 746-748.
35. Meredith, M.A. & Stein, B.E. (1986). Spatial factors determine the activity of multisensory neuron in cat superior colliculus. Brain Research 369: 350- 354.
36. Mursell, J.I. (1937). The Psychology of Music. New York: W.W. Norton Company INC.
37. Nazzi, T. & Ramus, F. (2003). Perception and acquisition of linguistic rhythm by infants. Speech Communication, 41: 1 233-243.
38. Norman, D. & Shallice, Tom. (1980). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behaviour. Center for Human Information Processing Report 99. La Jolla, CA: University of California, San Diego.
39. Overy K. (2003) Dyslexia and Music: From Timing Deficits to Musical Interventions. Annals of New York Academy of Science, 999: 497-505.
40. Overy, K., Nicolson, R.I., Fawcett, A.J. & Clarke, E.F. (2003). Dyslexia and Music: Measuring Musical Timing Skills. Dyslexia, 9: 18-36.
41. Patel, A.D. (2006). Musical rhythm, linguistic rhythm, and human evolution. Music Perception, *in press*.
42. Patel, A.D. (2003). Language, music, syntax and the brain. Nature Neuroscience Review, 6: (7) 674-681.

43. Patel, A.D., Iversen, J.R. & Rosenberg, J.C. (2006). Comparing the rhythm and melody of speech and music: the case of British English and French. *American Journal of Acoustic Society*, 119: (5) 3034-3047.
44. Patel, A.D. (2003a). Rhythm in language and music: parallels and differences. *Annals of the NY Academy of Sciences*, 999:140-143.
45. Patel, A.D. & Daniele, J.R. (2003b). An empirical comparison of rhythm in language and music. *Cognition*, 87:B35-B45.
46. Ramus, F., Nespor, M., Mehler, J. (1999). Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition*, 71: (3) 265-292.
47. Ramus, F. (2002). Language discrimination by newborns: Teasing apart phonotactic, rhythmic and intonational cues. *Annual Review of Language Acquisition*, 2: (1) 85-115.
48. Repp, B. & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research*, 68: 262-270.
49. Roper, N. (2003). Melodic Intonation Therapy with young children with Apraxia. *Bridges Practice- Based Research Syntheses*, 1: (8) 1-7.
50. Rose, S.A., Feldman, J.F., Jankowski, J.J. & Futterweit, L.R. (1999). Visual and Auditory Temporal Processing, Cross-Modal Transfer, and Reading, 32: (3) 256-266.
51. Samson, S., Ehrlé, N. & Baulac, M. (2001). Cerebral Substrates for Musical Temporal Processes. *Annals of NY Academy of Science* 930: 166- 178.
52. Scheier, C. Lewkowicz, D. & Shimojo, S. (2000). Perceptual reorganization of an ambiguous motion display by auditory stimulation in human infants. Evidence from eye and head movements. *Invest Ophthalmological Visual Science*, 41: 327
53. Schellenberg, E.G. & Trehub, S.E. (1994). Frequency ratios and the perception of tone patterns. *Psychological. Bulletin Review*, 1:191-201.
54. Schoenebeck, von M., Reiss, G. & Noll, Justus. (1994). *Musiklexikon*. Frankfurt am Main: Cornelsen Verlag Scripor GmbH.
55. Seitz, A.R., Kim, R. & Shams, L. (2006). Sound facilitates visual Learning. *Current Biology*, 16: 1422-1427.
56. Sekuler, R., Sekuler, A.B. & Lau, R. (1997). Sound alters visual motion perception. *Nature*, 385: 308.

57. Shams, L., Kamitani, Y. & Shimojo, S. (2000). What you see is what you hear. *Nature*, 408:788.
58. Shimojo, S. & Shams, L. (2001). Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 11:505-509.
59. Sparks, R., Helm, N. & Albert, M. (1973). Aphasia rehabilitation resulting from Melodic Intonation Therapy. *Cortex*, 10, 303-316.
60. Stein, B.E. & Meredith, M.A. (1993). *Merging of the senses*. Cambridge: MIT Press.
61. Stein, B.E. London, N., Wilkinson, L.K. & Price, D.D. (1996). Enhancement of perceived visual intensity by auditory stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8: 497-506.
62. Tallal, P. (1980): Auditory Temporal Perception, Phonics, and Reading Disabilities in Children, *Brain and Language* 9: 182-198.
63. Trehub, S.E. & Thorpe, L.A. (1989). Infants' Perception of Rhythm Categorization of Auditory Sequences by Temporal Structure. *Canadian Journal of Psychology*, 43: 217-229.
64. Trehub, S.E., Schneider, B.A., Henderson, J.L. (1995). Gap Detection in Infants, Children and Adults. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98:2532-2541.
65. Thorpe, L.A. & Trehub, S.E. (1989). Duration Illusion and Auditory Grouping in Infancy. *Dev. Psychol.* 25:122-127.
66. Thorpe, L.A., Trehub, S.E., Morrongiello, B.A. & Bull, D.(1988). Perceptual Grouping by Infants and Preschool Children. *Dev. Psychol.* 24:484-491.
67. Virsu, V., Lahti-Nuuttila, P. & Laasonen, M. (2003). Crossmodal temporal processing acuity impairment aggravates with age in developmental dyslexia. *Neuroscience letter*, 336: 151 – 154.
68. Watanabe, K. & Shimojo, S. (1998). Attentional modulation in perception of visual motion events. *Perception*, 27:1041-1054.
69. Watanabe, K. & Shimojo, S. (2001). When sounds affects vision: effects of auditory grouping on visual motion perception. *Psychological Science*, 12:109-116.
70. Welch, R.B. & Warren, D.H. (1980). Immediate perceptual response to intersensory discrepancy. *Psychological Bulletin*, 88: 638-667.

71. Werner, L.A., Marean, G.C., Halpin, C. (1992). Infant Temporal Auditory Acuity: Gap Detection. *Child Dev.* 63: 260-272.
72. Zampini, M., Brwon, T., Shore, D.I., Maravita, A., Röder, B. & Spence, C. (2005). Audiotactile temporal order judgments. *Acta psychologica.* 118: 277-291

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Altersverteilung der Kinder in %, Intervall ¼-jahr | 20 |
| Abb. 2: Dezemila beim Wahrnehmungstest..... | 21 |
| Abb. 3: Mögliche Reihenfolgen im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis... | 23 |
| Abb. 4: Tri-Modal-Box | 25 |
| Abb. 5: Reaktionstasten, LED & und Einkerbung der Klopffläche..... | 26 |
| Abb. 6: Beispiele einiger Rhythmen im Experiment zum Arbeitsgedächtnis..... | 27 |
| Abb. 7: Beispiele einiger Rhythmen im Wahrnehmungsexperiment..... | 28 |
| Abb. 8: Beispiele einiger Rhythmen im Reproduktionsexperiment | 28 |
| Abb. 9: Logfile und Legende im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis..... | 29 |
| Abb. 10: grafische Darstellung der Daten im Experiment zum rhythmischen Arbeitsgedächtnis | 30 |
| Abb. 11: Logfile und Legende im Experiment zur Rhythmuswahrnehmung | 31 |
| Abb. 12: Auszug aus der grafischen Datendarstellung zum Wahrnehmungsexperiment .. | 32 |
| Abb. 13: Logfile und Legende zum Rhythmusreproduktionsexperiment | 33 |
| Abb. 14: „Tap-Reader“ Rhythmusreproduktion | 34 |
| Abb. 15 Ausschnitt aus dem Fragebogen..... | 35 |
| Abb. 16: Anzahl korrekt wieder gegebener Rhythmen im Arbeitsgedächtnisexperiment (snd= auditiv; led= visuell; vib= taktil; ledsnd= visuell- auditiv; sndvib= auditiv- taktil; ledvib= visuell- taktil; ledvibsnd= visuell- taktil- auditiv) | 36 |
| Abb. 17: Von den Kindern beurteilter Schwierigkeitsgrad der Modalitäten (snd= auditiv; led= visuell; vib= taktil; ledsnd= visuell- auditiv; sndvib= auditiv- taktil; ledvib= visuell- taktil; ledvibsnd= visuell- taktil- auditiv)..... | 43 |
| Abb. 18: Das Modell zur multimodalen Rhythmusverarbeitung. | 49 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Stichprobe n=47 | 20 |
| Tabelle 2: Chi2- Testergebnisse zum Arbeitsgedächtnisexperiment (A: auditiv; T:taktil; V:visuell)..... | 37 |
| Tabelle 3: Ergebnisse zur Auswertung Musiker versus nicht- Musiker | 37 |
| Tabelle 4: Standardisierte gemischte hierarchische Regressionsanalyse..... | 37 |
| Tabelle 5: Hierarchische Regressionsanalyse zur Präzisionsauswertung: Geometrisches Mittel | 38 |
| Tabelle 6: Hierarchische Regressionsanalyse, RMS Geometrisches Mittel (SD für Geometrische Mittel)..... | 39 |

Anhang

Einverständniserklärung der Eltern:

Kinder



Stans



Projekt

| | |
|--|--------------------------|
| Name | Vorname |
| Jahrgang | |
| Ich bin einverstanden, dass mein Kind an der Studie teilnimmt. | Unterschrift der Eltern: |

Ort, Datum: _____

Musik



Stans



Projekt

Stans, im April 2005

Sehr geehrte Eltern

Die Schulgemeinde Stans arbeitet gemeinsam mit der Universität Zürich an einem Projekt. Dieses Projekt untersucht, ob das Ausüben von Musik einen Einfluss auf schulische Leistungen hat. Musik scheint für unser Hirn ein ideales Training zu sein. Beim Musizieren vollbringen wir eine grosse Koordinationsleistung. Hirngebiete, die für das Hören, Sehen, und Bewegen zuständig sind, müssen optimal zusammenspielen. Dieses Zusammenspiel fördert vermutlich Verbindungen im Hirn, welche sich auch auf andere Tätigkeiten positiv auswirken können. Das Ziel unserer Untersuchung ist es, zu verstehen, wie diese Verbindungen verlaufen, wie sich verändern und wie sie sich für therapeutische Zwecke nutzen lassen.

Wichtig ist jedoch zu wissen, was Kinder in verschiedenen Bereichen denn können: Wie genau unterscheiden sie Töne? Hören sie Rhythmen, oder werden diese eher gefühlt? Wie verändern sich die Leistungen im Verlaufe des Schulalters? Sind nur Kinder musikalisch die auch Musik ausüben?

Um Fragen dieser Art beantworten zu können, entwickelten wir einen Computertest. Die Kinder hören, fühlen oder sehen verschiedene musikalische Informationen und beantworten selbstständig verschiedene Fragen dazu.

Die 6.-Klässler haben im Mai 2005 die Möglichkeit, einen Teil dieses Test zu prüfen. Für uns ist es von grosser Bedeutung, dass viele Kinder mitmachen. Kinder die bereits ein Instrument spielen, Kinder die Sport machen, Kinder die malen, Kinder die zweisprachig aufgewachsen sind... Oder, um es kurz zu sagen, möglichst viele verschiedene Kinder aus Stans!

Wir freuen uns auf diese Zusammenarbeit!



Mit freundlichen Grüssen

Der Schulleiter

Die Projektleiterin

Luzi Berthel

Astrid von Büren Jarchow

| | | |
|---|----------------|---|
| Musik  | Projekt | Stans  |
|---|----------------|---|

Stans, 26. April 2005

Sehr geehrte Eltern

Nachfolgend werden Sie einen Fragebogen mit vielen Fragen finden. Falls Ihr Kind an der Studie teilnehmen darf, soll dieser Fragebogen vollständig ausgefüllt an die Lehrperson zurückgegeben werden. Damit Ihre Privatsphäre geschützt wird, bitten wir Sie, dies in einem geschlossenen Couvert zu machen.

Vielleicht werden Sie sich über einige Frage wundern. Vieles ist momentan noch unbeantwortet in der Hirnforschung. Wir wissen jedoch, dass unser Hirn enorm anpassungsfähig ist. Es verändert sich wenn jemand zweisprachig ist, wenn jemand Sport ausführt, Musik spielt ... und dies nicht nur bei Kindern, sondern bis ins Alter! Aus diesem Grund wird bei allen Hirnstudien versucht, möglichst viele Begleitinformationen zu sammeln.

Wichtig!!!

Alle Daten werden während der ganzen Studie streng vertraulich behandelt. Zur weiteren Verarbeitung, wie beispielsweise statistische Auswertungen, werden sämtliche Informationen anonymisiert. Jedes Kind erhält einen CODE, der keine persönlichen Daten enthält.

| | |
|--|--------------|
| Ich bin damit einverstanden, dass mein Kind an der Studie teilnimmt. | |
| Ort, Datum | Unterschrift |

Fragebogen Musikprojekt Stans

| | |
|--------------------|--|
| Name | |
| Vorname | |
| Passwort | |
| Strasse | |
| PLZ | |
| Ort | |
| Telefon / Natel | |
| e-Mail | |

| | | |
|--------------------------------|------------------|--|
| Geschlecht | weiblich | |
| | männlich | |
| Geburtsdatum | | |
| Geburtenfolge | 1. Geboren | |
| | 2. Geboren | |
| | 3. Geboren | |
| | 4. Geboren | |
| | 5. Geboren | |
| | 6. Geboren | |
| | höher | |
| Mehrlingsgeburt | Zwillinge | |
| | Drillinge | |
| | Vierlinge | |
| | Fünflinge | |
| | Sechslinge | |
| | mehr | |
| späte kindliche Entwicklung | keine | |
| | greifen | |
| | drehen | |
| | laufen | |
| | sprechen | |
| | soziale Kontakte | |
| | anderes | |

Erinnern Sie sich, ob ihr Kind einige dieser Entwicklungsschritte verspätet gemacht hat? Mehrere Antworten möglich!
Falls Sie etwas ergänzen möchten, hat es am Schluss des Fragebogens Platz dazu.

| | | |
|-------------------------|------------------------|--|
| Muttersprache | Deutsch | |
| | Französisch | |
| | Italienisch | |
| | Englisch | |
| | andere | |
| Zweitsprache | Deutsch | |
| | Französisch | |
| | Italienisch | |
| | Englisch | |
| | andere: | |
| Händigkeit | links | |
| | rechts | |
| | beidhändig | |
| Musikalische Exposition | keine | |
| | Vater | |
| | Mutter | |
| | 1 Geschwister | |
| | 2 Geschwister | |
| | 3 Geschwister | |
| | 4 Geschwister | |
| | 5 Geschwister | |
| | 1 Bezugsperson | |
| | Mehrere Bezugspersonen | |

Schulfranzösisch gilt nicht als Zweitsprache. Mit Zweitsprache ist gemeint, wenn mindestens ein Elternteil mit dem Kind eine Fremdsprache spricht.

Beidhändig = gewisse Arbeiten wie Papier schneiden, Essen schöpfen, Suppe löffeln.. werden mit der „Nicht-Schreib-Hand“

Musikalische Exposition = Spielen Familienangehörige Instrumente? Oder andere wichtige Bezugspersonen (Tagesmutter, Grosseltern,...)? Mehrere Antworten möglich!

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| Musikinstrumente (des Kindes) | keine | |
| | Holzblas-Instrument | |
| | Blechblas-Instrument | |
| | Streich-Instrument | |
| | Zupf-Instrument | |
| | Tasten-Instrument | |
| | Ziehharmonika | |
| | Schlaginstrument (Trommeln, Xylophone, Schlagzeug, Pauke) | |
| | Gesang | |
| | andere | |
| Musik spielen | Std/ Woche | |
| Musik spielen seit | Anzahl Jahren | |
| Musik hören | Std./ Woche | |
| Fernsehen | Std./ Woche | |
| Computer | Std./ Woche | |
| Computer seit | Anzahl Jahre | |
| Sport | kein | |
| | Velo | |
| | Ski Alpin / Snowboard | |
| | Ski Langlauf | |
| | Handball /Korbball/ Volley | |
| | Fussball | |
| | Kraft | |
| | Tanz / Ballet / Jazz | |
| | Geräte- oder Kunstturnen | |
| | andere | |
| Sportstunden pro Woche | Std./ Woche | |
| Sportstunden seit Jahren | Jahr(en) | |

- Holzblasinstrumente: Flöten, Klarinette, Oboe, auch Querflöte
- Blechblasinstrument: Trompete, Posaune, Horn, Tuba
- Streichinstrument: Geige, Viola, Cello, Kontrabass
- Zupf: Harfe, Gitarre, Zither
- Tasten: Klavier, Keyboard, Orgel, Cembalo
- Ziehharmonikas: Akkordeon, Schwyzerörgeli
- Schlaginstrument: Trommeln, Schlagzeug, alle Orffinstrumente
- Gesang: Chor, Gesangstunden

Mehrere Antworten möglich!
Wenn unklar, einfach den Namen des Instruments hinschreiben.

Std./ Woche= wie viele Stunden pro Woche wird das Instrument durchschnittlich gespielt (üben und Musikstunde)
Anzahl Jahre = seit wie vielen Jahren

Mehrere Antworten möglich!
Wenn unklar, einfach die ausgeübte Sportart hinschreiben.

| | | |
|--------------|--------------------|--|
| Lernprobleme | keine | |
| | lesen | |
| | sprechen | |
| | schreiben | |
| | zeichnen/gestalten | |
| | rechnen | |
| | Feinmotorik | |
| | Koordination | |
| | soziales | |
| | anderes | |
| | | |

Mehrere Antworten möglich!

Falls Sie uns noch etwas mitteilen oder genauer erklären möchten, haben Sie hier die Möglichkeit dazu (besondere Talente, Medikamente, Krankheiten, Schwangerschafts- oder Geburtskomplikationen, Bemerkungen oder Fragen):

Ich danke Ihnen für Ihre Mitarbeit und Ihr Vertrauen!

Astrid von Büren Jarchow

Notation für das Arbeitsgedächtnis

Unimodale Präsentation

Four musical staves illustrating unimodal presentation. Each staff begins with a treble clef and a 4/4 time signature. The first staff is marked with a finger number '1' above the first note. The second and third staves are marked with a finger number '5' above the first note. The fourth staff is marked with a finger number '1' above the first note. Each staff contains a sequence of notes and rests, with a double bar line indicating the end of the sequence.

Bimodale Präsentation

Four musical staves illustrating bimodal presentation. Each staff begins with a treble clef and a 4/4 time signature. The first staff is marked with a finger number '1' above the first note. The second and third staves are marked with a finger number '5' above the first note. The fourth staff is marked with a finger number '1' above the first note. Each staff contains a sequence of notes and rests, with a double bar line indicating the end of the sequence.

Trimodale Präsentation

A3

1



A3



A3

5



A3



Notation des Wahrnehmungsexperiments

Notation des Wahrnehmungsexperiments

The image displays ten musical staves, labeled R1 through R10, each representing a different experimental condition. The notation is written on a five-line staff with a key signature of two flats (B-flat and E-flat) and a time signature of 2/4. Each staff begins with a '1' above the first measure, indicating the first trial or repetition. The notation includes various musical symbols such as notes, rests, and bar lines, representing the sequence of sounds in the experiment.

R1

R2

R3

R4

R5

R6

R7

R8

R9

R10

R11

R12

13

14

1

2

3

4

6

7

8

9

10

[illegible]

Curriculum vitae

Persönliche
Angaben und
Adresse: Astrid von Büren Jarchow
Könizstr. 21a
3008 Bern
++41 31 534 58 38

astrid@jarchow.ch

Geburtsdatum: 21. März 1971
Geburtsort: Stans

| | |
|-----------|---|
| 1977-1986 | Primar- und Sekundarschulen in Stans |
| 1986-1991 | Primarlehrerinnenseminar in Menzingen / ZG |
| 1989-1991 | Religionslehrerinnenausbildung in Menzingen / ZG |
| 1996-1997 | Weiterbildung an der Theologischen Hochschule in Luzern |
| 1999-2004 | Psychologiestudium <ul style="list-style-type: none">○ Neuropsychologie als Vertiefungsrichtung○ 1. Nebenfach: Psychopathologie○ 2. Nebenfach: Sozial- und Präventivmedizin |

| | |
|------|---|
| 2004 | Lizenziatarbeit: Aufmerksamkeitsleistungen von chronischen Schmerzpatienten |
|------|---|

| | |
|-------------------|--|
| Febr. / März 2002 | Psychopathologie Praktikum in der Psychiatrischen Poliklinik, Culmannstrasse 8, Zürich |
|-------------------|--|

| | |
|-------------------|--|
| Febr. / März 2003 | Psychopathologie Praktikum im Schmerzzentrum der Klinik Wilhelm Schulthess, Zürich |
|-------------------|--|

| | |
|---------------------|---|
| April bis Juli 2003 | Forschungspraktikum an der Neuropsychologischen Abteilung, Prof. Dr. L. Jäncke (EEG- Ableitungen bei Erwachsenen und Kindern) |
|---------------------|---|

| | |
|-------------------------|---|
| Okt. 2004 bis Juni 2005 | Forschungsaufenthalt an der Harvard Medical School, Prof. Dr. med. Gottfried Schlaug, Music and Neuroimaging Laboratory |
|-------------------------|---|

| | |
|-----------------------------|--|
| Juli 2005 bis Dezember 2006 | Stipendiatin des Schweizerischen Nationalfonds zur Verfassung einer neuropsychologischen Dissertation an der Harvard Medical School, bei Prof. Dr. med. Gottfried Schlaug, Music and Neuroimaging Laboratory |
|-----------------------------|--|
